

1845年创刊 132位诺贝尔奖得主撰稿 从爱迪生到比尔·盖茨都喜欢阅读

《科学美国人》享誉全球的科普杂志

环球科学

SCIENTIFIC
AMERICAN

《科学美国人》

独家授权

2007·2 www.sciam.com.cn

邮局订阅代号: 80-498

家家都有机器人

撰文／比尔·盖茨

三十多年前，比尔·盖茨慧眼看中个人电脑的前途，成就微软的神话。而今天，他预言，下一场彻底改变时代的革命已崭露头角——机器人即将进入普通家庭。

健忘的一千零一个理由

我们为什么会哭泣

人类进化让癌细胞受益

乙醇燃料风波骤起

吹牛皮的抗感冒维生素

镇痛药的安全漏洞

关闭细菌的生命开关

癌细胞的抗癌机制



ISSN 1673-5153



定价: 12.00元

港币: 25.00元

美元: 4.50元

SCIENTIFIC AMERICAN 国内统一刊号: CN11-5480/N 国际邮发代号: ISSN 1673-5153

ThinkPad推荐使用Windows Vista™ Business。



你看待世界的方式,决定了世界看待你的方式。

ThinkPad T60宽屏笔记本让一切尽收眼底。16:10的宽视野,可以更多获取商业资讯。英特尔® 酷睿™ 2双核处理器,使多任务处理性能得到双倍提升。不止于此,集合了ThinkPad家族全部优异基因的宽屏T60,内涵千项创新技术,装备鼎级配置,是性能与便携完美平衡的ThinkPad T系列的突破之作。统观全局,又善于别开生面,这是领导者的特质。现在,与宽屏T60一起,同步拓展新境。

放怀天下 宽屏T60笔记本

ThinkPad
a product of Lenovo

宽纳众长: • 镁合金混织碳纤维外壳 • 16:10宽屏幕 • WSXGA+显示屏 • 生物指纹识别技术 • 客户端安全解决方案 • 密码管理软件 • 电池优化设计 • 首创镁制防滚架
• APS硬盘保护技术 • 硬盘减震器 • 硬盘减震导轨 • 硬盘防护罩 • 应急与恢复系统 • 三级散热系统 • 隐形扩展槽 • 超连接双天线设计 • 网络自适应软件

ThinkPad T60采用英特尔® 迅驰™ 双核移动计算技术。 800-830-6444转8094或0755-86365444转8094 www.thinkpad.com/cn

© 联想公司版权所有。2007。本公司保留所有权利。Microsoft, Windows为微软公司的注册商标。ThinkPad为联想公司的注册商标。本广告提及的ThinkVantage技术仅限于特定机型内置安装。联想公司对此保留解释权。Celeron, Celeron Inside, Intel, Intel Logo, Intel Core, Intel Inside, Intel Inside Logo, Intel Viiiv, Intel vPro, Itanium, Itanium Inside, Pentium, Pentium Inside, Xeon和Xeon Inside均是英特尔或英特尔所属公司在英国或其他国家的商标/注册商标。

“我还觉得有许多值得看的科普书，我特别推荐的是 Scientific American (《科学美国人》)，Scientific American 现在逐期都有中文的翻译，你们去看看这个我觉得是非常有用的。”

——杨振宁



囊括2006年《环球科学》
全部精彩内容，
装帧精美，便于阅读收藏

每篇文章都是科学与智慧的淬炼，
每一期都是不容错过的精彩奉献

分享132位诺贝尔奖得主的科学理念，
汲取最优质的科学知识

定价：150元/套
(上下册各75元，可分册购买)

优惠价：135元/套

一份有价值的科学典藏

购买方式：

1. 直接向杂志社邮购

邮局汇款（汇款时请在附言中注明您的姓名、通信地址、邮编和电话）

汇款地址：重庆市渝中区双钢路3号科协大厦1204

收款单位：环球科学杂志社 邮编：400013

2. 在网上购买

www.gotoread.com

www.itbook.com.cn

读者服务热线：023-63658888-16048

E-mail: advice@sciam.cn

广告热线：023-63658997 2007年《环球科学》可破季订阅



P6 封面故事 COVER STORY

家家都有 机器人

撰文/比尔·盖茨 (Bill Gates)

32年前，他预见到PC的兴起，毅然从哈佛退学，创造了微软神话；今天，比尔·盖茨再次宣告，一个新产业即将崛起，机器人即将和PC一样，走进每一个家庭，改变我们的生活。点燃这场革命的导火索，就是开发出一套机器人通用的标准软件。



05 走出科幻小说的机器人

撰文/陈宗周

14 机器人发展简史

撰文/崔月婷

16 从ROBOT到三定律

撰文/星河

热点追踪 Hot Topic

28 健忘的一千零一个理由

撰文/卡斯滕·布兰登贝格 (Carsten Brandenberg)

“健忘”和它带来的恐惧，正在都市人群中蔓延。如果你经常找不到自己的钥匙，或忘记该做的事情，就需要和本文作者一道，细数造成健忘的各个理由，再对症下药，改善自己的记忆力。

医学&健康 Medicine & Health

30 我们为什么会哭泣

撰文/奇普·沃尔特 (Chip Walter)

看似平常的眼泪，却是人类独有的秘密武器：它不仅是我们表达情感的工具，还是烦恼清除剂、强效镇静剂，尤为重要的是，它能加强人与人之间的情感联系，让人们在危机中团结起来共渡难关。没有眼泪，也许就没有今天的人类！

36 人类进化使癌细胞受益

撰文/卡尔·齐默 (Carl Zimmer)

癌症为什么难以攻克？因为癌细胞也一直在进行适者生存的“进化”：人体进化产生出的新机制和新能力，癌细胞总能迅速适应，并借此变得更具侵略性。了解癌细胞进化的秘密，科学家们将找出攻克癌症的新方法。

44 关闭细菌的生命开关

撰文/罗纳德·R·布雷克 (Ronald R. Breaker)

杰弗里·E·巴里克 (Jeffrey E. Barrick)

细菌要生存繁殖，就必须制造一系列营养物质。为了合理分配资源和能量，细菌通常会利用某些蛋白质来监控制造过程。奇怪的是，监控细菌合成维生素的却是一些古老的RNA分子，它们像开关一样控制着维生素的合成过程，关闭这个RNA开关，就能切断细菌的生命线。

52 镇痛药的安全漏洞

撰文/加里·斯蒂克斯 (Gary Stix)

阿司匹林是人们最熟悉的镇痛药，但它却有致命的“安全漏洞”：引发心脏病和中风。新一代镇痛药伟克适、希乐葆等漏洞依然，镇痛药的安全漏洞真的无法弥补？科学家偶然发现的一种基因再次点燃了希望，因为这种基因很可能就是镇痛药物的“安全补丁”！

天文 Astronomy

56 生命来自外星球？

撰文/戴维·沃姆弗拉什 (David Warmflash)

本杰明·魏斯 (Benjamin Weiss)

地球生命源自何处？一种解释是来自外星球。当小行星或彗星撞击到那颗星球上，溅起大量岩石，一小部分岩石可能携带着微生物，摆脱原来星球的引力，穿越星际。最近对火星陨石的研究表明，在从火星到地球的旅程中，微生物可以躲藏在岩石深处，穿过危机四伏的茫茫宇宙而存活下来，“偷渡”到地球上……

64 行星为什么是行星

撰文/史蒂文·索特 (Steven Soter)

官方公布的新定义让“九大行星”的说法变成了历史，但一些天文学家仍然拒绝接受新定义。针对反对者的种种质疑，力挺新定义的天文学家详细分析：虽然新定义也有不足之处，但它已经抓住了行星的本质特征，大自然本身就提供了区分行星与非行星的分界线。

能源 Energy

70 乙醇燃料风波骤起

撰文/马修·L·沃尔德 (Matthew L. Wald)

乙醇燃料, 号称最有可能取代石油的新型能源, 真的能节省能源、保护环境? 美国科学家的研究给了我们当头棒喝: 从玉米中提炼乙醇得到的能量, 甚至会低于制造过程中消耗的能量; 在减少温室气体的排放方面, 乙醇燃料的作用更是微乎其微。

78 未来核能箭在弦上

撰文/约翰·M·多伊奇 (John M. Deutch)

欧内斯特·J·莫尼兹 (Ernest J. Moniz)

到2050年, 全球电力消耗量将增加160%。要堵上这个巨大的能源缺口, 又不能增加二氧化碳的排放量, 我们不得不求助于核能。兴建新的核电站, 妥善处理核废料, 防止核武器扩散, 是全球需要共同面对和解决的问题。

技术解剖 Working Knowledge

86 “真假”草皮

撰文/马克·菲谢蒂 (Mark Fischetti)

88 废纸重生

撰文/马克·菲谢蒂 (Mark Fischetti)

前沿扫描 News Scan

18 程序死循环的终结者

19 重建伊拉克天文台

20 第三次工业革命开始了吗

21 清除水中的DNA污染

22 提升显微镜的视力

23 电击大脑 增强记忆

24 清除异味的恶臭

25 月球上的气体喷发/语言改变天性

26 研究痛感的新工具/癌里的抗癌机制/降低体温 延长寿命



专栏 Column

论坛 Forum

27 财富“进化”论

撰文/斯图尔特·A·考夫曼 (Stuart a. Kauffman)

怀疑论者 Skeptic

90 吹牛皮的抗感冒维生素

撰文/迈克尔·舍默 (Michael Shermer)

反重力思考 Anti Gravity

91 又甜又脏的科学

撰文/史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky)



专家解答 Ask the Experts

92 科学家如何追溯延续了几个世纪的线粒体DNA

92 海贝壳和蜗牛壳是怎样形成的

经典回眸 50,100&150 Years Ago

93 病毒模式◎呼吸机◎科学与犯罪

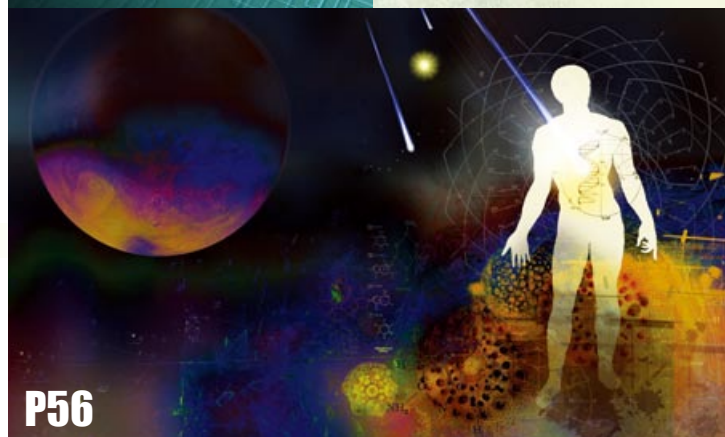


P30



P44

P52



P56



P78

时代的节点

当《科学美国人》的同事向我们通报本期选题时，特别推荐了本期的封面故事，杂志社的同事也兴奋起来。毕竟家用机器人这个话题，是大家一直非常感兴趣的，经常在谈论的话题。现在由比尔·盖茨这个“微软神话”的创造者，斩钉截铁地宣布机器人普及风暴的到来，自然有它的震撼力。

为了翻译好这篇文章，我们特别请郭凯声先生执笔。郭先生是国内极有声誉的翻译家，从《科学美国人》进入中国那一天起，就为本刊译稿。他的中英文写作功力都相当深厚，传神、精准的翻译，常常让我们和专家都拍案叫绝。编辑还请出了哈工大的机器人专家蔡鹤皋院士和中科院计算所的倪光南院士做顾问，他们从专业角度提出的意见也非常精到，让我们大受启发。为了帮助读者了解背景和展望未来，十分熟悉计算机发展史的本刊社长，《电脑报》创始人陈宗周先生还特地写了“封面故事的故事”：《从科幻故事中走出的机器人》。

这篇稿子的处理，是《环球科学》稿件编辑过程的缩影。有着161年深厚积淀的《科学美国人》，是世界上最优秀的科普杂志，它坚持的一个原则，就是稿件出自研究第一线的大科学家之手，而且文章明白晓畅，这使得它在美国家喻户晓。作为《科学美国人》的中文版，《环球科学》不但要求翻译得科学和准确，更要追求文字的流畅，让读者享受到阅读的快乐。这就需要团结全国优秀的科普力量，制定出科普翻译的行业标准。

目前，《环球科学》的译者，绝大多数是相关研究领域的专家和一线研究人员，而重点文章要送交学术顾问和相关领域的著名科学家审校，也已经成为杂志社的传统。当然，这一切努力，还需要读者的认同。

好在读者是认同这种努力的。从创刊号开始，《环球科学》的发行量一路攀升，实现了一年翻番。科学美国人总裁Gretchen感慨说：《环球科学》只用几个月，就做到了此前20多年没有做到的事情。杂志社的同事自然深感振奋——我们看到了读者的支持和信任，也看到了中国科普事业勃兴的希望。我们相信，2007年，将是《环球科学》历史上浓墨重彩的一笔。

另一个将在2007年迎来爆发的领域，是机器人产业。“我们站在时代的节点，一个崭新的产业即将崛起。”比尔·盖茨就是以这个论断，作为本期封面故事的开篇的。

其实，家用机器人并不完全是“崭新的产业”。早在1939年，西屋电气的机器人Electro首次亮相，就激发了人们对于家用机器人异乎寻常的热情。此后的几十年间，全球科学家一直没有停止在这方面寻求突破。我们的近邻日本和韩国，更是将发展机器人提升到国家政策的高度。

可以说，家用机器人的普及已经蓄势待发，比尔·盖茨这篇文章，捅破了这层窗户纸，吹响了机器人普及革命的号角。回顾世界科技史，低成本的生产是新技术普及必不可少的前提，比尔·盖茨也深谙这个道理，提出机器人普及的关键，是实现软件和硬件的标准化生产——这和30多年前PC产业的情况如出一辙。

在微软自己编的百科全书《英卡塔》中，对“盖茨”的解释是：“盖茨的大部分成就，在于他有能力将科技的远景转化为市场策略，把对科技的敏锐和创造性融合在一起。”他和微软的传奇，就是从1975年《大众电子学》上刊登的那篇文章开始，或许他的《家家都有机器人》，会成为更多比尔·盖茨传奇的起点。

执行副主编

郭涛



SCIENTIFIC AMERICAN
Established 1845

Editor in Chief: John Rennie
Editors: Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins, Steve Mirsky, George Musser, Christine Soares
NEWS Editor: Philip M. Yam
Contributing Editors: Mark Fischetti, Marguerite Holloway, Philip E. Ross, Michael Shermer, Sarah Simpson
Art Director: Edward Bell
Vice President and Publisher: Bruce Brandfon
Chairman Emeritus: John J. Hanley
Chairman: John Sargent
President and Chief Executive Officer: Gretchen G. Teichgraber
Vice President and Managing Director, International: Dean Sanderson
Vice President: Frances Newburg
“SCIENTIFIC AMERICAN” is a registered trade name owned by SCIENTIFIC AMERICAN, Inc., New York; it is used under license by PCW.

顾问Consultant

周光召
(以下按姓氏笔画) 艾国祥 李国杰 张玉台 张厚粲
赵忠贤 钟南山 姚期智 欧阳自远 焦洪波

2007年2月5日出版 总第14期

主管Authorities in Charge

中国科学技术协会
China Association For Science and Technology
主办Sponsor
中国科技报研究会CSSSTP

社长/主编Editor-in-chief

陈宗周Chen Zongzhou
副社长/副主编Senior Editor
李永明Li Yongming/李林Li Lin/王寿全Wang Shouquan
执行副主编Executive Subeditor
郭涛Guo Tao

编辑出版Publication

环球科学杂志社GLOBAL SCIENCE MAGAZINES
社址Address: 北京清华大学同方大厦B楼503室
电话Tel: 010-62770266
重庆运营中心Chongqing Operation Center
重庆市渝中区双钢路3号科协大厦1204
读者热线Tel: 023-63658888-16034

编辑部EDITORIAL DEPARTMENT

编辑Editor
董继平Dong Jiping/褚波Chu Bo
崔月婷Cui Yueting/虞骏Yu Jun
美术编辑Art Editor
陈松涛Chen Songtao
电话Tel: 023-63658852 / 010-62770266
E-mail: letter@sciam.cn

艺术指导Art Director

华戈文化Hugo-Culture

网站总监Web Director

栾璞Luan Pu
网址Website: http://www.sciam.com.cn

读者服务Reader Service Department

张春Zhang Chun
服务热线Tel: 023-63658888-16048
E-mail: advice@sciam.cn

广告ADVERTISING DEPARTMENT

广告总代理Advertising General Agent
电脑报经营有限责任公司
China Popular Computer Week Management Co. Ltd
广告总监Advertising Director
陈海鹰Chen Haiying
广告热线Tel: 023-63658997 010-62780435
传真FAX: 023-63658888-13088
广告信箱E-mail: adv@sciam.cn

发行CIRCULATION DEPARTMENT

发行总经销Chief Distributor
电脑报经营有限责任公司
China Popular Computer Week Management Co. Ltd
发行总监Director Manager
赵晓岚Zhao Xiaolan/吴永强Wu Yongqiang
发行热线Tel: 023-63658756
传真FAX: 023-63658769

印刷: 重庆建新印务有限责任公司

如发现本刊缺页、装订错误和损坏等质量问题，请在当月与本刊读者服务部联系调换(请将坏书寄回)。

2006年1月创刊·每月5日出版

国际标准刊号: ISSN 1673-5153

国内统一刊号: CN11-5480/N

邮局订阅代号: 80-498

《环球科学》杂志，内容系科学美国人杂志社独家授权。版权2007属科学美国人杂志社、环球科学杂志社和重庆电脑报经营公司，未经书面许可，本刊任何部分均不得以机械、拍照、电子或录音形式翻印，也不允许存储于检索系统，或通过转载及其他复制方式提供给公众或私人使用。



走出科幻小说的机器人

撰文 陈宗周

——本杂志、一篇文章影响历史的例子太多了。1975年1期的美国《大众电子学》(Popular Electronics)杂志就是这样的例子。在那期杂志的封面上,赫然出现的文字是“突破,世界上第一台可与商用型电脑媲美的小型手提式电脑……Altair 8800”。这台Altair电脑被作为第一台个人电脑而载入史册。

首次推出的Altair(牛郎星)电脑是否可算电脑,大有争议。因为,MITS公司和开发者兼老板罗伯茨当时只提供机箱、面板、配有256字节内存的CPU主板。这样的机器能算是电脑吗?不过,这些质疑被山呼海啸般的欢呼声淹没了。在那个时代,人们渴望拥有自己的个人电脑而苦于不能,他们等待得太久了。当罗伯茨在《大众电子学》杂志上振臂一呼,宣告电脑的价格已从上万美元跌落到397美元,完全可以为个人和家庭所拥有时,所引起的强烈反响就不难理解了。

当时,微软公司的创始人之一保罗·艾伦(Paul Allen)在哈佛广场上看见了这期的《大众电子学》,大为震动,立刻飞跑去找另一位年轻人。艾伦激动地挥舞着杂志,向他的朋友大声喊道:“我早就对你说过,这一天会来的,我们快错过机会了!”这位正在哈佛大学念法律课程的朋友当然不愿意错过机会,很快就从哈佛大学退学,与保罗·艾伦一起创办了今天名声赫赫的微软公司。这个人,就是比尔·盖茨。

2007年1期的《科学美国人》杂志与1975年1期的《大众电子学》杂志颇有相似之处。家用机器人让大家渴望、等待得太久了。《科学美国人》杂志刊载的比尔·盖茨的这篇文章,应该看成是机器人革命的一声春雷。它宣告,机器人已经从科幻小说里走出来,正全面走进我们家庭,走进人类社会,它将深刻地影响和改变我们的生活。

面对走进人类社会的机器人,有一个问题我们不可能回避:不管机器人是否像人,但它却在一天天变聪明。人类

一直对机器人怀有一种既爱又怕,欲迎还拒的复杂心情。因为有人认为,我们能控制力气比人类大得多的机器,却不知道能否控制有一天可能比人类聪明得多的机器。我们难以预测自己一手炮制出的这种伟大的特殊机器未来将去向何方,我们特别对机器人智能全面超越人类忐忑不安。

对一千年、一万年之后的机器人,今天谁也看不清,作一百年的预测,也多少有些冒险。所以,机器人领域的专家、《大英百科全书》机器人词条的撰写者、卡内基·梅隆大学机器人研究所的汉斯·莫拉维克(Hans Moravec)的预测目前只到2040年。他认为,在21世纪的前40年,会出现四代通用机器人。他这样描述:

第一代通用机器人可能在2010年出现,它的处理能力是3,000MIPS(MIPS即百万条指令/秒,是衡量电脑处理能力的重要指标),它是蜥蜴级的机器人。

第二代通用机器人可能出现在2020年,其处理能力是10万MIPS,它是老鼠级的机器人。

第三代通用机器人可能在2030年出现,处理能力是300万MIPS,它是猴子级的机器人。

第四代通用机器人可能出现在2040年,处理能力是1亿MIPS,它是人类级的机器人。

汉斯·莫拉维克研究了人类大脑的处理能力,认为1亿MIPS的电脑可以在处理能力上达到人脑的水平。顺便说一下,现在PC机的处理能力一般为几千MIPS,与他的第一代通用机器人的处理能力相当。汉斯·莫拉维克还承诺将在2008年更新他对机器人智能的预测,我们拭目以待。

对机器人智能的预测还可追溯到电脑和人工智能科学发展的早年。比较著名的是英国科学家阿兰·图灵(Alan Turing)的预测。这位英年早逝的天才设计出了图灵试验。在这个简单的试验

中,他让电脑与人一起回答问题,如果别人不能分辨出回答问题的是人还是电脑,电脑就算通过了图灵试验,也就是说它具有与人类水平相当的智能了,遗憾的是,迄今为止,还没有一台电脑通过图灵试验。

尽管如此,图灵对未来的机器智能有确定的看法,他在《计算机能思考吗》一文中写道:“总而言之,人将比任何已有的计算机更聪明,但以后还会有其他更聪明的计算机出现。”图灵的母亲曾撰写纪念她的儿子,书中引用了图灵最亲近的同事、英国著名数学家纽曼的夫人写给她的信,纽曼夫人写道:“1948年,阿兰和我丈夫在我家花园里讨论计算机,当时我听到一句话,令我不寒而栗。阿兰沉思着说,我推测当计算机发展到那个阶段,我们可能将不了解它在怎么工作。”这是具有洞察力的图灵对机器智能的预测。

就在比尔·盖茨写下关于家庭机器人这篇文章时,尽管有的科学家还不承认机器智能或人工智能,但计算机(我们现在都习惯称为电脑)的智能却已经在某些方面超过人类了。我们不得不面对这一现实。

机器人的智能超过人类,并不等同于人类无法控制它们的行为。美国著名科幻作家艾萨克·阿西莫夫(Isaac Asimov)曾在1941年发表的作品《逃避》(Runaround)一书中第一次提出机器人定律,后来他在著名科幻小说《我,机器人》(I, Robot)一书中再次明确制定了著名的“阿西莫夫机器人三定律”:一、机器人不得伤害人,或任人受到伤害而袖手旁观;二、除非违背第一定律,机器人必须服从人的命令;三、除非违背第一及第二定律,机器人必须保护自己。这可能是人类规范机器人行为的第一部法律。

唉,刚走出科幻小说,却又走进科幻小说,真没办法。❧



家家都有 机器人

30 年前，比尔·盖茨毅然弃学，创立微软，成为个人电脑普及革命的领军人物；30 年后的今天，他预言，机器人即将重复个人电脑崛起的道路。点燃机器人普及的“导火索”，这场革命必将与个人电脑一样，彻底改变这个时代的生活方式。

撰文 比尔·盖茨 (Bill Gates)
翻译 郭凯声

我们站在时代的节点：一个崭新的产业即将崛起。若干开创性的新技术为这个产业的崛起奠定了基础；几家口碑颇佳的企业提供了极为专业的商品；一大批新公司迅速壮大，致力于制造新式玩具、为发烧友提供配件，还出售其他各种有趣的利基产品。然而，它也是一个高度分散、各自为政的行业，几乎没有统一的标准或平台。这个行业的开发项目复杂、进展缓慢，可投入实际应用成果寥若晨星。实际上，尽管它的发展令人振奋，前途一片光明，但谁也说准这个行业何时才能成长到临界质量，甚至连它是否会达到临界点都无人知晓。不过，只要能发展到临界点，它就可能彻底改变这个世界。

毋庸置疑，人们可以用上面这段话来描述 20 世纪 70 年代中期的计算机行业，那时我和保罗·艾伦 (Paul Allen) 才刚刚创建微软公司。那个年代的大型计算机体型臃肿、造价高昂，通常是在大型公司、政府部门和其他各种机构中用于后台操作，支持日常运转。顶级大学和工业实验室研究人员正忙于打造基础组件，为信息时代的到来开辟道路。英特尔公司刚刚推出 8080 微处理器，而现代家庭电子游戏的鼻祖阿塔里公司 (Atari) 还在兜售风靡一时的乒乓球电子游戏 Pong。发烧友自发组织了俱乐部，千方

百计地想找出这项新技术究竟能做什么。

不过，此刻我心里所想的并不是那些往事，而是现在机器人行业的发展——目前这个领域的状况与 30 年前的电脑行业极为相似。今天在汽车装配线上忙碌的一线机器人，正是当年大型计算机的翻版。而机器人行业的利基产品也同样种类繁多，比如协助医生进行外科手术的机械臂、在伊拉克和阿富汗战场上负责排除路边炸弹的侦察机器人、以及负责清扫地板的家用机器人。还有不少电子公司参照人、狗、恐龙的样子制造机器人玩具，而发烧友们都迫切希望能弄到一套最新版的乐高 (LEGO) 机器人套件。

与此同时，一群堪称全世界最聪明的人正设法解决机器人技术中最让人头疼的问题，比如视觉识别、导航及机器学习。现在看来胜利在望。2004 年，美国国防部高级研究项目局 (DARPA) 主办了首届机器车挑战大赛 (Grand Challenge)。比赛在莫哈维沙漠上展开，全程 142 英里 (约合 227 千米)，路程崎岖，看看谁能研制出第一辆能够跑完全程的无人驾驶机器车。那次大赛上表现最好的参赛车才跑出 7.4 英里就偃旗息鼓了。然而，2005 年的挑战赛上，有 5 辆参赛车跑完全程，冠军的平均时速还达到 19.1 英里 (参见《环球科学》2006 年 2 月号 W·韦特·吉布斯所著《无人战车关键一步》一文)。在这方面，机器人行业与电脑行业也有惊人的相似之处：互联网的鼻祖 Arpanet 网当年也正是靠了高研局大把银子的资助，才能顺利“降生”。

机器人行业现今面临的挑战，也和 30 年前电脑行业遇到的问题如出一辙：机器人制造公司没有统一的操作系统

环球科学小词典

利基 (niche)：商业用语，是指针对企业的优势细分出来的市场，这个市场不大，而且没有得到令人满意的服务。产品推进这个市场，有盈利的基础。在这里特指，针对性、专业性很强的产品。

临界质量 (critical mass)：人们曾经援引这个描述原子反应过程的术语来比喻硅谷以及 IT 行业的迅速崛起，是指知识技术积累到一定的临界点，新技术就会跟裂变反应一样爆发，并剧烈扩展。



■或许有一些未来的家用机器人长得就像与科幻作品里的人形机器人，但绝大多数机器人更可能是承担各种家务的移动式装置（画中的机器人虽然看起来已经不太像人，但它们能够擦玻璃、浇花、做农活，承担起各种家务。这幅油画原是格兰特·伍德上世纪30年代的作品，美国大萧条时代之后，画上站在哥特式建筑前面的一男一女就逐渐成为美国普通家庭的形象代表。如果比尔·盖茨的预言成真，那么，机器人就会像这幅画中描绘的一样，深入普通家庭的日常生活）。

※这幅画改自格兰特·伍德1930年创作的著名油画《美国式哥特》（American Gothic），所有权属于南·伍德·格雷厄姆（Nan Wood Graham），保留所有权力，获得纽约VAGA许可。

GRANT
WOOD

软件，流行的应用程序很难在五花八门的装置上运行。机器人的处理器和其他硬件的标准化工作也未开始，在一台机器人上使用的编程代码，几乎不可能在另一台机器上发挥作用。如果有人想开发新的机器人，通常得从零开始。

虽然困难重重，但我跟涉足机器人技术的大学研究人员、实业家、发烧友，乃至高中生都谈到过这方面的话题，他们那种知难而进的激情和对未来的期许，令我不由回想起自己的经历。当年我和保罗·艾伦一边看着各种新技术相互融合，一边梦想着将来有一天，家家户户的书桌上都摆着电脑。现在，我看着多种技术发展的趋势开始汇为一股推动机器人技术前进的洪流，我完全能够想象，机器人将成为我们日常生活的一部分。我坚信，分布式计算、语音与视觉识别以及无线宽带网络等新技术，将为我们开启通向新一代自主式装置的大门，使电脑不仅能在虚拟世界里大显身手，还能代替我们执行现实世界中的各项任务。或许我们很快将跨进一个新时代，那时，电脑将走下办公桌，通过它，我们能够观看、倾听、触摸，甚至操纵那些我们难以亲自接触的东西。

距离梦想有多远

制造机器人的梦想已经延续了几千年，形形色色的机器人在科幻故事里大行其道，不过现在的机器人连门和敞开的窗都很难区分开。

“机器人”(Robot)这个术语是1921年捷克剧作家卡雷尔·恰佩克(Karel Capek, 1890年-1938年)首创的，很快就流行开来。不过，打造人形机器人的梦想，却已延续了数千年之久。早在古希腊古罗马的神话中，冶炼之神便开始用黄金打造机械仆人。公元1世纪，亚历山大的赫伦(Heron, 传说这位杰出的工程师发明了第一台蒸汽机)设计出一些令人叹服的自动机器，据说其中一台还能说话。另一位科技奇才达·芬奇1495年的草稿中夹着一张制作机械骑士的草图，这位机器人骑士能坐能站，手脚还能活动。人们认为这应该是第一份人形机器人的设计图。

概述 / 机器人前途无量

◆目前机器人行业面临的很多挑战，30年前PC行业就遭遇过。由于缺乏统一的标准和平台，设计师在制造新的机器人时往往只能白手起家，从零开始。

◆另一项挑战——如何让机器人迅速地摸清周围环境情况，并作出适当的反应。强大处理能力及传感器的成本大幅下降，有助于研究人员解决这个问题。

◆新的软件工具能让机器人开发人员更加得心应手地编写程序，并能在不同类型硬件上运行。具有无线通信功能的机器人连接上台式个人电脑，就可以利用个人电脑强大的处理能力，来应付诸如视觉识别和导航之类的任务。

机器人与个人电脑双剑合璧

将家用机器人与个人电脑连接起来将会相得益彰。身在办公室的文员坐在台式个人电脑前，便可确保住宅安全、给宠物喂食、清扫地板，还可以照顾卧床不起的老母亲。通过无线网络，这些机器人可以同家用电脑联系，也可以彼此交流。



负责清扫地板的机器人

负责送饭送药的机器人

剪草机器人

摄像头

家用个人电脑

负责叠衣物的机器人

负责巡逻保安的机器人

一个世纪以来，众多风靡一时的科幻作品——比如艾萨克·阿西莫夫的小说《我，机器人》（*I, robot*，又名《机械公敌》）、电影《星球大战》以及电视剧《星际迷航》等陆续登场，使机器人成了大众文化中司空见惯的角色。机器人在科幻世界中如此大行其道，表明公众也认同，有朝一日机器人将会融入我们的日常生活，成为我们的忠实助手乃至亲密伴侣。然而，尽管目前机器人在汽车制造等行业中已成为关键角色（这些行业中，机器人与工人的数量比达到1:10左右），但想要达到科幻作品中的水平，还有很长的路要走。

要想让电脑和机器人感知周围的情况，并作出迅速准确的反应，难度之大远远超乎人们的预期，这成了科幻与现实之间存在巨大差异的原因之一。事实证明，许多本领在人看来或许只是小菜一碟（比如根据房间里其他东西的

位置调整自己的方位，对声音作出反应并解读别人的谈话，抓住大小不同、质地各异、各种各样的东西等），对机器人来说却难于登天——它们甚至分不清打开的门和窗有何不同。

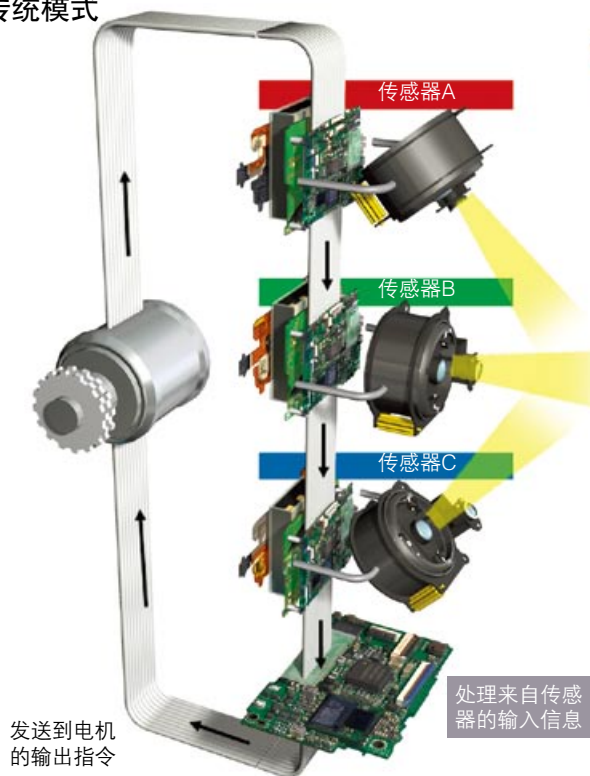
不过，研究人员已经逐渐摸索出解决办法。拥有超强处理能力的电脑日益普及，将为研究者排忧解难。20世纪70年代，一兆赫处理能力的成本超过7,000美元，今天却只值几美分；一兆比特的存储容量，也经历了类似的价格暴跌。有了如此廉价的计算和存储能力，科学家就能动用大量电脑资源，踢走那些阻碍机器人进入现实世界的绊脚石。例如，语音识别程序已经能相当有把握地辨别单词，但如何根据上下文悟出这些单词的含义要难得多。可以预见，随着电脑计算能力的持续提升，机器人设计师将借助越来越强的处理工具，轻松解决更为复杂的问题。

改进编程 不再摔跤

同时处理来自多个传感器的数据往往令机器人左右为难，比如下图这个安装着3台红外传感器的机器人。机器人处理数据的传统模式是，程序首先读取所有传感器传来的数据，接着处理数据，并向机器人的电机发出相应的指令，然后这个“接收-处理-发令”的循环又从头开始，如此周而复始（左图）。不过，万一传感器A（红色）传送出的最新数据表明机器人面临险境（比如已经走到楼梯的边缘，再前进一步就要滚下去了），而程序却仍在不慌不忙地分析较早时传来的数据，恐怕机器人就要重重地摔下楼梯了。为了

解决这个“并发”问题，比较妥善的办法是改进程序设计，让每个传感器在程序中都有各自独立的数据处理通道（右下图），确保新的输入数据能及时得到处理，那么机器人走到楼梯边缘时，就能悬崖勒马了。

传统模式



新模式



开发机器人的另一个障碍是硬件设备的成本过高，例如传感器、电机和伺服装置等都价值不菲（传感器的作用是收集环境信息，比如测定机器人距某一物体有多远，而电机和伺服器的功能则是以恰当的力道灵巧地摆弄物体），但目前这些器件的售价也在迅速下降。几年前，机器人上使用的精密激光测距仪价格高达1万美元左右，而现在仅花2,000美元即可买到。新推出的超宽带雷达测距传感器的精度将进一步提升，但售价却更为低廉。

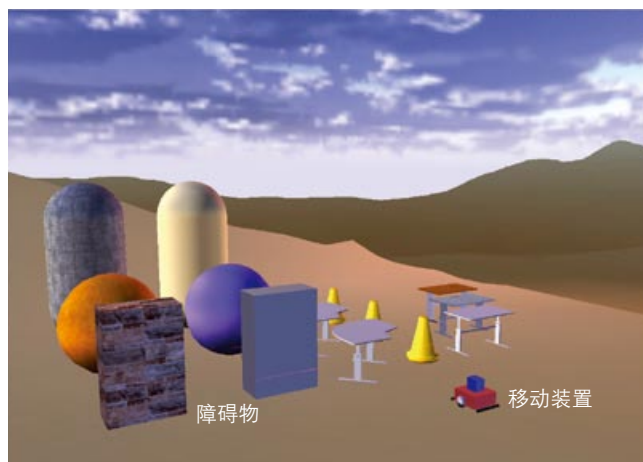
现在，机器人设计师无须花费太多，就能为机器人配备全球定位系统芯片、摄像头、麦克风阵列（array microphone，从背景噪声中识别声音的能力优于传统麦克风）以及其他种种传感器。在电脑处理能力和存储容量突飞猛进的基础上，这些新加入的传感器件将使机器人如虎添翼。今天的机器人已经可以承担某些具有相当难度的工作，例如打扫房间、协助排除路边炸弹等，而在仅仅几年前，市面上出售的机器人根本不可能完成这些任务。

BASIC 路线续写辉煌

BASIC 语言让个人电脑的研发和应用都变得简单易懂，最终引发了电脑进入普通家庭的浪潮，而机器人行业也必须找出帮助行业统一，引爆普及革命的关键要素。

2004年2月，我前往美国卡内基-梅隆大学、麻省理工学院、哈佛大学、康奈尔大学以及伊利诺伊大学等众多名牌大学发表演讲，阐述在解决当今社会某些最紧迫的问题时，电脑发挥了怎样的重大作用。我旨在引导学生了解，这门科学多么激动人心、多么重要，希望借此鼓励他们中的一部分人投身技术研究。每到一所大学，发表演讲以后，我都有幸参观学校计算机系开展的某些最有意思的研究项目。这些大学向我介绍的研究课题中，至少有一个与机器人有关，几乎无一例外。

当时，我在微软的同事们也听说，学术界和商业机器人行业中的某些人士急于探听微软是否在进行机器人技术的研究，期望微软能为他们的开发项目助一臂之力。当时微软尚未涉足这个领域，我们决定进一步考察。我委派我的战略智囊团的成员，为微软工作了25年的坦迪·特罗尔（Tandy Trower）展开广泛的实地调查，遍访机器人行业的各路精英。我们发现，人们普遍看好机器人技术的发展前景，而且整个行业都迫切希望获得新的工具，简化他们的开发工作。坦迪在调查报告中指出：“许多人认为机器人行业的发展正处在技术转折点上；向个人电脑（PC）的



■开发人员可以先在电脑上的虚拟三维环境中让机器人试运行，帮助他们分析并调整机器人的性能，然后再到真实场合中检验。作为Microsoft Robotics Studio的一部分，这种工具可以模拟各种力（例如重力和摩擦力）的作用。

体系架构过渡，已经越来越顺理成章。卡内基-梅隆大学参加DARPA机器人挑战赛的机器人车队的领队雷德·惠特克（Red Whittaker）不久前提出，现在硬件的功能已经基本合乎要求，问题是要找到合适的软件。”

回想PC发展的初期，当时我们意识到，要将PC的整个开拓性研究推入临界状态，把所有研究成果整合起来，打造出一个能够批量生产实用产品的行业，还需要一项要素。事实证明，我们需要的正是微软的BASIC语言。我们在20世纪70年代开发的这套程序设计语言为计算机行业奠定了统一的基础，有了BASIC语言，针对某套具体硬件开发的程序也可以在另一组硬件上运行了，电脑程序设计的工作轻松多了，吸引了越来越多的人投身计算机行业。为PC发展做出过实质性贡献的人数不胜数，但对软硬件的革新而言，微软的BASIC语言是关键催化剂之一，而软硬件的革新最终使PC革命成为可能。

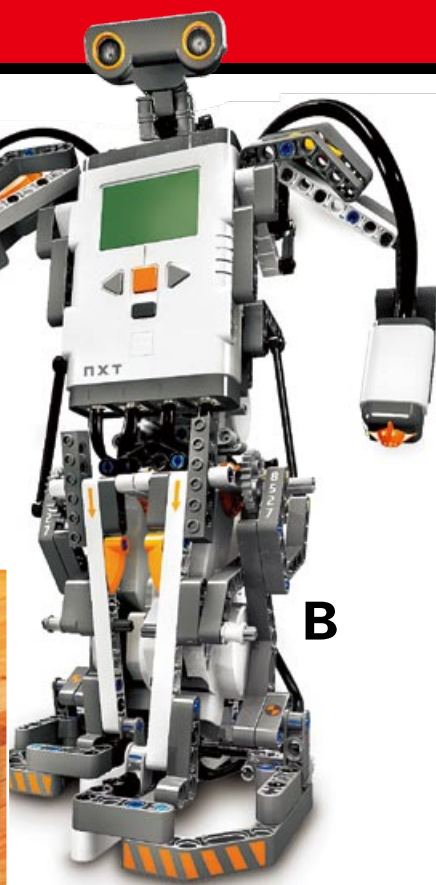
读完坦迪的报告，我豁然开朗：看来机器人行业也必须找出行业中那个尚未现身的关键要素，才能实现PC行业30年前所经历的脱胎换骨。因此，我要求坦迪着手组织一班人马，与机器人行业的精英们通力合作，打造一套必要工具，让任何一个对机器人感兴趣的玩家，哪怕只掌握了最基本的计算机编程知识，也能不费吹灰之力，编写出可

本文作者

比尔·盖茨是全球最大的软件公司——微软的创建人之一，现任微软董事会主席。上世纪70年代，盖茨还是哈佛大学在校生时，便为第一台微电脑MITS Altair编写了BASIC语言。大学三年级时，盖茨便从哈佛退学，专心打理他和童年好友保罗·艾伦于1975年创建的微软公司。2000年，盖茨与夫人梅琳达共同设立了盖茨夫妇基金会，致力于推进全球卫生保健、扶贫、推广现代技术等事业。2006年6月，盖茨已经对外宣称，到2008年7月，他将不再负责微软公司的日常管理，更多地投入到基金会的慈善项目上。



■一个行业的诞生：机器人开发者已经推出了一系列实用机器人，它们的设计各有千秋。斯坦福大学赛车队研制的自动驾驶机器车斯坦利号（见图A）不负众望，在2005年DARPA的机器车挑战赛上，不靠驾驶员，便能独自在沙漠上跑完130多英里的赛程，力挫群雄，拔得头筹。美国马萨诸塞州伯灵顿的iRobot公司制造的Packbot EOD（见下页图）在伊拉克战场上大显身手，帮助士兵排除路边炸弹。iRobot公司还推出了自动吸尘器“伦巴”（Roomba，见图C），可以把硬木地板及地毯等打扫得干干净净。丹麦老牌玩具厂商乐高集团推出的LEGO MINDSTORMS（见图B）是一套用于拼装机器人玩具并为其编制程序的工具，它已成为乐高历史上最畅销的产品之一。



以在不同类型硬件上运行的机器人应用程序。想考察一下我们能否为机器人开发者提供一套通用的初级基础工具，把各种软件、硬件整合进机器人的设计，就像当年微软BASIC语言为电脑编程者所做的一样。

坦迪的机器人攻关组相当幸运，因为微软公司首席研究与战略总监瑞格·蒙迪（Craig Mundie）麾下的一个研究小组已经开发出一系列先进技术，可供机器人攻关组选用。其中一项技术将帮助机器人设计师解决最棘手的一个问题：如何同时处理多个传感器发来的所有数据，然后向机器人的各个驱动装置发送正确的指令——也就是所谓的“并发”（concurrency）问题。常规的解决方案是编写一个传统的单线程串行处理程序，通过长长的一组循环指令，接收各传感器送来的全部数据并加以处理，最终得出机器人应采取何种行动的决定，输出信息，然后整个循环又重新开始。这种模式的缺点显而易见：举例来说，如果你的机器人刚收到最新的传感数据，提醒它已经走到楼梯的边缘，而程序却仍然在计算机机器人的行进路线，并根据先前收到的传感数据命令机器人加速前进，结果可想而知：机器人还没来得及处理刚收到的危险信号，就已跌下楼梯了。

“并发”这个难题还困扰着机器人之外的其他行业，目前为分布式计算机网络编写的应用程序日益增多，程序设计人员不得不绞尽脑汁，寻找一种有效的方法来协调同时在多台服务器上运行的代码。此外，装有多个处理器及多

核处理器（multicore processor，如双核、四核处理器等，集成电路把两个或两个以上的处理器连接在一起，以增强性能）的电脑日渐取代单处理器电脑，软件设计人员需要一种新方法编写桌面应用程序和操作系统。为了充分发挥并行处理的威力，新的软件必须解决并发问题。

终结这个问题的方案之一是编写多线程程序，这类程序可以沿着多条路径，同时处理大量数据。不过，任何一位曾经编写过多线程代码的程序开发人员都会告诉你，这是程序设计中最让人头疼的任务之一。因此，瑞格小组设计了另一种巧妙的工具——“并发处理与协调运行”（Concurrency and Coordination Runtime，CCR）。CCR是一个函数库，其中每个函数都是一组执行某项专门任务的软件代码。借助CCR，程序设计人员可以轻松快捷地编写多线程应用程序，协调一系列同时进行的过程。CCR的设计意图是协助程序设计人员充分利用多核与多处理器系统的能力，事实证明，它也是机器人技术的理想工具。比如说，有时候会出现这样的状况：机器人软件忙于向轮子发送输出命令，无暇处理传感器发来的输入信息，结果导致机器人一头撞在墙上。如果机器人设计师借助CCR函数库编写程序，就能在很大程度上避免这样顾此失彼的事故。

除了解决并发问题以外，瑞格小组还获得了另一项成果：通过所谓的“分布式软件服务”技术（Decentralized Software Services，DSS），简化了分布式机器人应用程序的



编写工作。借助 DSS 编写的应用程序所提供的各项服务（即应用程序中执行具体功能，比如接受传感器输入或控制电机的组件）是各自独立运行的，但程序可以对它们进行协调，类似于互联网把来自不同服务器的文本、图片和信息等整合显示在一个网页上。有了 DSS，软件的各个组成部分就可以彼此独立运行，万一机器人的某一部分出了问题，也可以单独关闭并重启这一部分（或者干脆把它替换掉），无须重启整个机器人。把这种软件架构同宽带无线技术结合，便能利用网络浏览器对机器人进行远程监控和调节了。

DSS 的优势还不止于此。控制机器人运行的 DSS 应用程序不一定要完全安装在机器人身上，可以分布于多台电脑中。机器人可以把一些棘手的运算工作交给家用 PC 上的高性能硬件，从而大大降低机器人本身的成本。我坚信这方面的进展将为一类全新机器人的诞生铺平道路：这些机器人实质上就是台式 PC 的外设，它们可以到处走动，并借助无线通信与 PC 交流，利用 PC 的强大功能应对诸如视觉识别、导航之类需要强大处理能力的挑战。这些装置可以通过网络相互联系，将来我们或许会看到这样的场面：成群结队的机器人协同工作，执行绘制海底地形图或种植作物等任务。

这些技术是坦迪小组开发的新型软件开发工具包——Microsoft Robotics Studio（微软机器人作坊）的关键部分，当然工具包里还有其他工具。借助这些工具，我们可以通过多种编程语言轻松编写应用程序。例如，运用模拟工具，机器人设计师就可以在正式试用之前，在三维虚拟环境中检验他们编写的应用程序。我们发布这个工具包，旨在打造一个廉价的开放平台，让机器人开发者能够轻而易举地把软件和硬件整合到机器人的设计中。

改变时代

机器人将成为由 PC 控制的外接设备。它们的样子也许会离我们的科幻故事越来越远，但样子并不重要，重要的是，它带给我们的改变丝毫不逊于 PC 过去 30 年来的影响。

机器人融入我们日常生活的步伐有多快？据国际机器人联盟调查，2004 年，全球个人机器人约有 200 万台，到 2008 年，还将有 700 万台机器人投入运行。按照韩国信息通信部的计划，到 2013 年，韩国每个家庭都能拥有一台机器人；而日本机器人协会预测，到 2025 年，全球机器人产业的“蛋糕”将达到每年 500 亿美元的规模（现在仅有 50 亿美元）。

与 20 世纪 70 年代 PC 行业的情况相仿，我们不可能准确预测出究竟哪些用途将推动这个新兴行业进入临界状态。不过看起来，机器人很可能在护理和陪伴老年人的工作上大展宏图，或许还可以帮助残疾人四处走走，并增强士兵、建筑工人和医护人员的体力与耐力。机器人可以检修危险的工业设备，处理各种危险物品，巡查偏远地区的输油管道，还能协助医生诊断并治疗远在数千里之外的病人，而在保安系统及搜救行动中，机器人更是义不容辞地充当起关键角色。

未来也会有不少机器人看起来酷似《星球大战》中的人形金属怪物，但绝大多数机器人的外貌肯定将与 C-3PO（《星球大战》中那个多愁善感的人形机器人）迥然不同。实际上，随着移动式外设的日益普及，我们可能越来越说不清到底什么才是机器人。这些机器人的功能高度专业化，深入千家万户，但外貌却跟科幻作品中那些两足拟人机器人大相径庭，说不定我们不会再把它们叫做机器人。不过，名字并不重要，重要的是，随着这些装置的价格逐渐降低，达到普通消费者能够承受的水平，它们极有可能使人类生活的方方面面——包括工作、交流、学习及娱乐等，发生翻天覆地的变化，影响之深远丝毫不逊于过去 30 年间个人电脑给我们带来的改变。SA

扩展阅读

More information about robotics in general is available at:

Center for Innovative Robotics: www.cir.ri.cmu.edu

DARPA Grand Challenge: www.darpa.mil/grandchallenge/

International Federation of Robotics: www.ifr.org

The Robotics Alliance Project: www.robotics.nasa.gov

Robotics Industries Association: www.roboticsonline.com

The Robotics Institute: www.ri.cmu.edu

The Tech Museum: Robotics: www.thetech.org/robotics/

Technical details and other information about Microsoft Robotics Studio can be found at msdn.microsoft.com/robotics

机器人发展简史

1920年

捷克斯洛伐克作家卡雷尔·恰佩克在他的科幻小说《罗萨姆的机器人万能公司》中,根据 Robot (捷克文,原意为“劳役、苦工”)和 Robotnik (波兰文,原意为“工人”),创造出“机器人”这个词。



卡雷尔·恰佩克

1942年

美国科幻巨匠阿西莫夫提出“机器人三定律”。虽然这只是科幻小说里的创造,但后来成为学术界默认的研发原则。



阿西莫夫

1954年

美国人乔治·德沃尔制造出世界上第一台可编程的机器人,并注册了专利。这种机械手能按照不同的程序从事不同的工作,因此具有通用性和灵活性。



乔治·德沃尔

1959年

德沃尔与美国发明家约瑟夫·英格伯格联手制造出第一台工业机器人。随后,成立了世界上第一家机器人制造工厂——Unimation公司。由于英格伯格对工业机器人的研发和宣传,他也被称为“工业机器人之父”。



英格伯格

1962年—1963年

传感器的应用提高了机器人的可操作性。人们试着在机器人上安装各种各样的传感器,包括1961年恩斯特采用的触觉传感器,托莫维奇和博尼1962年在世界上最早的“灵巧手”上用到了压力传感器,而麦卡锡1963年则开始在机器人中加入视觉传感系统,并在1965年,帮助MIT推出了世界上第一个带有视觉传感器,能识别并定位积木的机器人系统。



麦卡锡

1920年

1939年

1942年

1948年

1954年

1956年

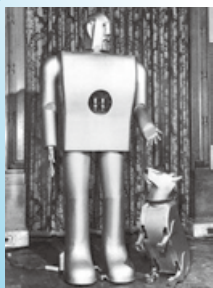
1959年

1962年

1962年

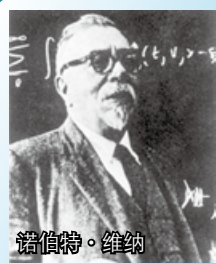
1965年

1939年



美国纽约世博会上展出了西屋电气公司制造的家用机器人Elektro。它由电缆控制,可以行走,会说77个字,甚至可以抽烟,不过离真正干家务活还差得远。但它让人们人们对家用机器人的憧憬变得更加具体。

1948年



诺伯特·维纳

诺伯特·维纳出版《控制论》,阐述了机器中的通信和控制机能与人的神经、感觉机能共同规律,率先提出以计算机为核心的自动化工厂。

1956年



马文·明斯基

在达特茅斯会议上,马文·明斯基提出了他对智能机器的看法:智能机器“能够创建周围环境的抽象模型,如果遇到问题,能够从抽象模型中寻找解决方法”。这个定义影响到以后30年智能机器人的研究方向。

1962年



Unimate

美国AMF公司生产出“VERSTRAN”(意思是万能搬运),与Unimation公司生产的Unimate一样成为真正商业化的工业机器人,并出口到世界各国,掀起了全世界对机器人和机器人研究的热潮。

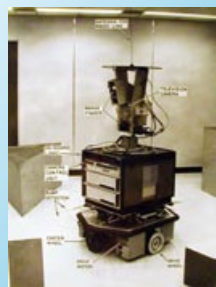
1965年

约翰·霍普金斯大学应用物理实验室研制出Beast机器人。Beast已经能通过声纳系统、光电管等装置,根据环境校正自己的位置。20世纪60年代中期开始,美国麻省理工学院、斯坦福大学、英国爱丁堡大学等陆续成立了机器人实验室。美国兴起研究第二代带传感器、“有感觉”的机器人,并向人工智能进发。

个人机器人——PR (Personal Robot) 现在还是一个梦想。机器人研究涉及的学科涵盖机械、电子、传感器、驱动与控制等多个领域，过去，对机器人行业有过重大贡献的人数不胜数。不过，从简单的时间线已经能够看出，从第一代工业机器人、第二代带有“感觉”的机器人到第三代智能机器人，机器人的体积越来越小，与 PC 结合得越来越紧密。说不定，PR 就快成为现实了。

1968年

美国斯坦福研究所公布他们研发成功的机器人 Shakey。它带有视觉传感器，能根据人的指令发现并抓取积木，不过控制它的计算机有一个房间那么大。Shakey 可以算是世界第一台智能机器人，拉开了第三代机器人研发的序幕。



1973年

世界上第一次机器人和小型计算机携手合作，就诞生了美国 Cincinnati Milacron 公司的机器人 T3。



现在的T3

1984年

英格伯格再推机器人 Helpmate，这种机器人能在医院里为病人送饭、送药、送邮件。同年，他还预言：“我要让机器人擦地板，做饭，出去帮我洗车，检查安全”。



现在的Helpmate

1999年

日本索尼公司推出大型机器人爱宝 (AIBO)，当即销售一空，从此娱乐机器人成为目前机器人迈进普通家庭的途径之一。



2006年

6月，微软公司推出 Microsoft Robotics Studio，机器人模块化、平台统一化的趋势越来越明显，比尔·盖茨预言，家用机器人很快将席卷全球。



比尔·盖茨

1968年

1969年

1973年

1978年

1984年

1998年

1999年

2002年

2006年

1969年

日本早稻田大学加藤一郎实验室研发出第一台以双脚走路的机器人。加藤一郎长期致力于研究仿人机器人，被誉为“仿人机器人之父”。日本专家一向以研发仿人机器人和娱乐机器人的技术见长，后来更进一步，催生出本田公司的 ASIMO 和索尼公司的 QRIO。

1978年



PUMA的后代

美国 Unimation 公司推出通用工业机器人 PUMA，这标志着工业机器人技术已经完全成熟。PUMA 至今仍然工作在工厂第一线。

1998年



丹麦乐高公司推出机器人 (Mindstorms) 套件，让机器人制造变得跟搭积木一样，相对简单又能任意拼装，使机器人开始走入个人世界。

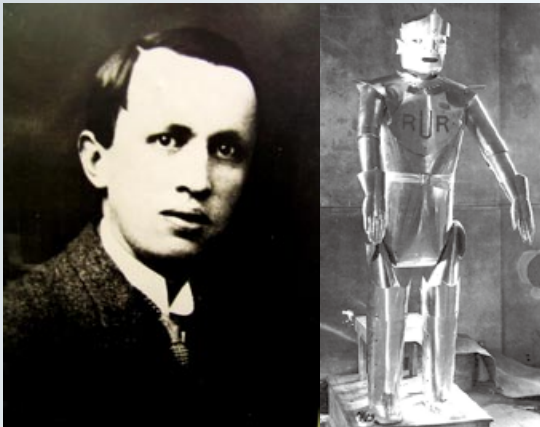
2002年



丹麦 iRobot 公司推出了吸尘器机器人 Roomba，它能避开障碍，自动设计行进路线，还能在电量不足时，自动驶向充电座。Roomba 是目前世界上销量最大、最商业化的家用机器人。

从ROBOT到三定律

撰文 星河



■卡雷尔·恰佩克和他笔下的万能机器人



■艾萨克·阿西莫夫

在大西洋的一座岛屿上，有一家制造和生产生物机器人的洛苏姆万能机器人公司。大量机器人从这里源源不断地生产出来，渗透到世界各地的各行各业。机器人的大量出现，导致人口停止增长，有人预言人类将有灭绝之灾。然而洛苏姆公司的负责人一意孤行，不但继续扩大生产规模，还不断改进机器人，使它们具有思想。结果机器人拥有了反抗意识，越来越不听命令，甚至发动了暴乱。面对危机，工程师毅然烧毁了所有制造机器人的资料，但这样一来，人类也失去了对抗机器人的王牌。这场战争最后两败俱伤——除了这位掌握机器人秘密的工程师以外，其他人全被杀死；无法生育的机器人也在不断老化，数量逐渐减少。故事的结尾，是工程师

听到世界上最后两个机器人的笑声，他们已经获得了人类的思想和情感，甚至有了性别之分——他们成了新的亚当和夏娃。

这是1920年捷克剧作家卡雷尔·恰佩克创作的科幻戏剧——《洛苏姆万能机器人公司》中的情节，也是机器人一词的初次登场亮相。恰佩克根据 robota（捷克文：“劳役、苦工”）和 robotnik（波兰文：“工人”）创造出了 robot，用来称呼剧中的机器人。后来这个单词被各语种吸收采纳，成为世界性词汇，并为科幻文学发扬光大。

在科幻小说中，robot 除了指钢铁机器人（mechanical men）以外，还包括所谓的“生物机器人”，甚至早期的“克隆人”。广义地说，一切非生育的“人”都属于 robot。而在现实

世界中，机器人也并非真要具有人的外形，为了能够更有效率地工作，它们的长相往往千奇百怪。在现代科技的背景下，robot 不过是“自动智能机”的代称而已。

“机器人三定律”

涉及机器人的早期科幻故事，大都表现出一种对科技进步的担忧：人类创造了高度智能化的机器人，往往会自食恶果，被机器人取而代之。为了扭转这种技术悲观论调，1940年年底，著名科幻作家艾萨克·阿西莫夫和科幻编辑约翰·坎贝尔，共同为机器人制定出一套行为规范和道德准则，这就是著名的“机器人学三定律”：

一、机器人不得伤害人，或任人受伤害而袖手旁观；

二、除非违背第一定律，机器人必须服从人的命令；

三、除非违背第一及第二定律，机器人必须保护自己。

从1941年的短篇科幻小说《推理》开始，阿西莫夫就在“三定律”的框架下创作了一系列短篇机器人科幻小说。他熟练运用“三定律”，在机器人有可能违背规则的前提下逐渐展开故事。这些短篇故事极具逻辑性，情节紧凑，扣人心弦，后来大都被收录在《我，机器人》（1950）和《其他机器人》（1964）这两本科幻小说集中。在尝试了一系列短篇小说之后，阿西莫夫又创作了机器人长篇科幻小

本文作者

星河，青年科幻作家。中国作家协会会员，中国科普作家协会会员，现为北京作家协会理事、签约作家。他的代表作包括《决斗在网络》、《朝圣》、《带心灵去约会》等。

说,分别是《钢窟》(1953)和《裸日》(1957),内容都涉及人类侦探与机器人侦探联手破案的传奇故事,被誉为科幻与推理相结合的典范。

有了“三定律”,阿西莫夫笔下的机器人就不再是“欺师灭祖”、“犯上作乱”的反面角色,而是人类忠实的奴仆和朋友。不过高度智能化的机器人还是会产生各种心理问题,需要人类协助解决,这正是机器人故事的基础。阿西莫夫所向往的,是人类为代表的“碳文明”与机器人为代表的“钢铁文明”的共存共生。在阿西莫夫的另一篇优秀作品《二百岁人》(1976)中,他的这一思想表露得淋漓尽致。

《二百岁人》讲述了一个机器人版的匹诺曹奇遇记。这个机器人刚被制造出来,就表现出了非凡的艺术才能。在此后漫长的岁月里,它的才能为它带来了巨额财富,而它则用这些钱来实现自己的梦想——变成一个真真正正的人。它不断地打官司,试图通过法律来认可身份;它将身上的零件逐渐换成生物器官,直到完全变成生理意义上的人;最后,为了让社会彻底承认自己是人,它主动放弃了永生。在弥留之际,法庭的宣判终于到来——“他”终于实现了梦想,成了一名真正的、有尊严的人!

家喻户晓的机器人

“机器人”是阿西莫夫对科幻文学最重要的贡献之一。如果说“三定律”还有坎贝尔的功劳,那么没有阿西莫夫的发扬光大,则很难有机器人科幻文学此后的繁荣局面。电影技术的发展,将机器人形象搬上了银屏,被表现得更为直观和生动,也令机器人的概念更加深入人心,家喻户晓。

有关机器人的科幻电影有很多,出现机器人角色的镜头更是不胜枚举。还记得“星球大战”系列影片中那两个颇具人情味的人形机器人C-3PO和“圆桶形”机器人R2-D2吧?在这一系列影片中它们是贯穿始终的重要角色。阿西莫夫的许多机器人科幻作品,例如《我,机器人》和《二百岁人》等,也纷纷被搬上银幕。不过机器人影片中的典范之作,当数詹姆斯·卡梅隆执导的“终结者”系列。尽管在该系列影片中,未来已经被机器人统治,人类与机器人又陷入残酷的战争之中,但是阿诺·施瓦辛格扮演的生化机器人流露出来的铁骨柔情,仍然为人类与机器人的和平共处留存了一丝希望。可见阿西莫夫的机器人思想,已渗透到了科幻领域的方方面面。

正如当初人们按照自身形象虚构出神灵一样,现在的科幻作家展开了丰富的想象,塑造出机器人的形象。它们的思路更为敏捷,体魄更为强壮,道德规范更为完善,同时也具备了人类的种种弱点。科幻机器人的出现,是人类对“上帝造人”的挑战,代表着人类企图主宰万物的愿望和野心;它们也是人类自身的镜像,能够让我们更清晰地认识我们自己。

科学幻想一直是人类展示梦想的舞台,伴随着科幻小说和电影的流行,越来越多的人已经普遍接受了这样一种未来:机器人将与人类和平共处,帮助我们解决生产生活中遇到的种种困难,甚至替代我们去探索和开发未知的领地。有了这样的共识,再加上现代科技的进步,特别是计算机技术的飞速发展,机器人的梦想正在走出科幻,走进我们的现实生活。SI



软件

程序死循环的终结者

微软设计了一套工具软件，用来校验程序是否会陷入死循环。

撰文/加里·斯蒂克斯 (Gary Stix)



■阿兰·图灵从数学上证明，任何程序都无法校验所有程序能够顺利完成任务。

计算机恐虫症

因为软件中存在 bug (原意为臭虫，现在泛指软件中的各种漏洞和缺陷)，全世界每年都会损失几十亿美元，这就是多家公司纷纷着手研究自动程序校验工具的原因。2005 年，微软发布了一款自动捉虫软件——静态驱动程序检查器 (Static Driver Verifier)，它用一种数学模型来检验驱动程序的源代码，以确定该程序的运行过程是否会出现意外的偏差。

静态驱动程序检查器检验的是那些导致进程终止执行的程序错误。比如，一个设备驱动程序在与程序 A 发生作用之前，不应该与程序 B 发生作用，否则就会导致驱动程序终止执行。微软最新的校验工具终结者对付的则是另一类错误。这些错误可能导致程序陷入永无休止的循环之中，无法继续完成任务。

数学家阿兰·图灵 (Alan Turing) 是计算机科学的创始人之一，他在 1936 年曾经证明：用于判定任意程序都一定可以顺利运行终结的程序，是不可能被设计出来的。这一证明过程的精髓在于，如果让这样一套算法去分析自身，它一定会陷入困境，发现自己无法停止运行。“这会导致一个逻辑悖论，”美国堪萨斯州立大学的计算机学教授戴维·施密特 (David Schmidt) 说。从实际经验来看，对于 Windows 操作系统的任何一位用户来说，进程无法终止都是再熟悉不过的——他们经常会在点击鼠标之后，无奈地看到一个沙漏在屏幕上翻转，表明程序失去了响应，在同一段代码上永无休止地循环下去。

微软操作系统目前的版本是 XP (Vista 已经发布，但大部分用户仍在使用 XP)，比以前的 Windows 版本更加稳定。不过，为了让打印机、MP3 播放器和其他外设能够与操作系统协调工作，这些设备的制造商编写了各式各样的驱动程序，这些软件仍然存在缺陷。因此，XP 用户仍然要时常面对转个不停沙漏。微软研究院最近试图开发一套工具软件，用来检查驱动程序是否存在 bug，从而解决不断出现的、恼人的沙漏问题。

微软研究院还没有推翻图灵的论断，不过他们已经在一些学术会议上提交了多篇论文，介绍了一种名叫终结者 (Terminator) 的工具软件，微软试图用这一软件判定驱动程序能否顺利运行终结。这一软件的开发项目由微软研究院英国剑桥实验室的拜伦·库克

(Byron Cook) 领导，这位计算机理论学家声称，计算机专家至今未能成功开发出一种实用软件，用以自动判定大型程序能否运行终结，原因就在于他们深受图灵论断的影响。他说：“图灵证明，这个问题是不可判定的，从某种意义上说，他把大家都唬住了。”

驱动程序在执行一个进程时，可能会出现无数种状态，不过终结者综合了过去几种自动程序分析技术，能够用有限的方式描述所有状态。如此一来，终结者就可以尝试得出一个合乎逻辑的结论，判定它分析的软件可以完成任务。在设备的驱动程序中，往往有一些不断重复执行的指令行，直到满足某个特定条件时，才会跳出循环；“排序函数” (ranking function) 则能衡量某一进程在循环中已经执行的进度，终结者正是结合了多个排序函数来作出判定。终结者会从一个相当不可靠的初步判断入手，进行多次尝试，从每一次失败中吸取经验，不断加以修正和优化，最终完成校验 (即作出一个足够可信的判定)。即使一切都按计划运行，在一台强大的计算机上，这一进程也会耗费好几个小时，证明该驱动程序没有一条执行路径会导致沙漏出现。

终结者软件投入运行仅 11 个月，还没有分发给为 Windows 开发设备驱动的外部承包商，不过它已经在最新推出的 Vista 操作系统的一些驱动程序中，找到了一些可能导致进程无法终止的 bug。库克预测，终结者最终将能为 99.9% 的商业程序进行校验，判定它们能否顺利结束运行。(当然，有些程序本身就是为了永远运行而设计的。) 不过，图灵的论断依然是正确的。库克说：“总有一个程序 (即终结者软件自身) 是终结者无法完成校验的。不过如果终结者有能力校验任何实用软件，这一点也就无关紧要了。”

法国巴黎高等师范学院的帕特里
克·库索 (Patrick Cousot) 是数学程
序分析的倡导者。他认为, 对于少数
目的明确的应用程序, 终结者也许行
之有效。“不过我怀疑, 终结者能否处

理那些数学上难以终止的问题”——
例如由浮点数字运算或多个进程同时
运行造成的程序无法终止现象。库克
不同意他的观点, 他计划针对这样的
问题开发一些终止校验算法。不过,

找到一种方法确保更复杂的程序不会
失去响应, 这是一项超高难度的挑战,
库克认为, 他余下的职业生涯, 也许
都将为此而奋斗。SN

(译 / 波特 校 / 虞骏)

望远镜

重建伊拉克天文台

天文台的重建, 将带动伊拉克科学的复兴。

撰文/迈克·西蒙斯 (Mike Simmons)



伊拉克北部的库尔德
自治区, 有一个叫做埃尔比
勒 (Erbil) 的省份。那里的
群山之间, 本该矗立着一
座具有世界水平的天文台。
1973 年, 当时的伊拉克总
统艾哈迈德·哈桑·贝克尔
(Ahmed Hassan al-Bakr) 下
令, 斥资 1.6 亿美元建造一
座包含 3 台望远镜的天文
台。一旦建成, 它将成为中

东地区最大的天文观测地点。但是, 埃尔比勒不仅
是天文观测的理想地点, 也是战略要地。由于修建
地点距伊朗边境不足 50 千米, 不管是射电望远镜
的碟形天线还是光学望远镜的圆顶, 都没能躲过战
火的摧残——1985 年, 它在两伊战争时被伊朗导
弹击中; 1991 年的海湾战争中, 它又成为美国为首
的盟军空军的打击目标。

站在海拔 2,127 米的科赖克 (Korek) 山顶, 眼
前的天文台废墟让人百感交集。四周巍峨的群山和
狭长的深谷让人心旷神怡, 而天文台的现状却令人
心酸: 碎石片瓦遍地堆积; 圆顶上弹痕累累, 破出
几个大洞; 一些小圆顶下面, 还能看到几个没有
用过的迫击炮筒。战争的破坏和长达 20 年的空置,
让这里死气沉沉。令人欣慰的是, 尽管破败不堪,
但是这些设施似乎还可以被轻易修复。

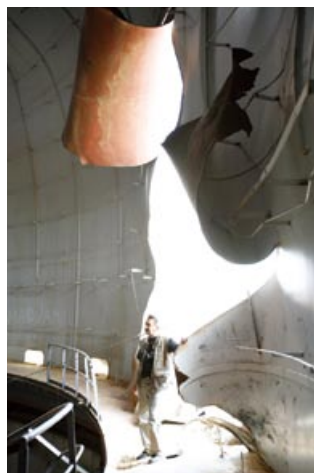
由于科赖克山非常适合天文观测, 附近的群山
上点缀着不少古代天文台废墟——这是伊斯兰科学
曾经领先世界的见证。不过前面提到的那座伊拉克
国家天文台要比这些古代废墟幸运得多——它还有
机会重新焕发青春。由于地处伊拉克北部, 这里遭
受的战祸要比伊拉克南部少得多。再加上萨达姆政
权已被推翻, 国际制裁已经结束, 这座天文台的所
在地——相对平静的 3 个库尔德自治省, 正处于复

兴之中。

考虑到科学和教育在社会重建过程
中的重要性, 以及尊重科研机构所能带
来的声望, 库尔德自治区的领袖们有了
重建天文台的想法。伊拉克埃尔比勒省
省长纳瓦扎德·哈迪·穆卢德 (Nawzad
Hadi Mawlood) 在从政前, 曾在科赖克
山上担任广播工程师一职。(伊拉克广
播公司利用科赖克山较高的地势来转发
广播和电视信号。) 他认为重建天文台
是当务之急, 他说: “埃尔比勒将成为
世界著名天文台的所在地。作为一名工
程师, 重建天文台对我来说意义重大。”
当初得到贝克尔总统授权, 负责建造这
座天文台的阿塞姆·阿尔萨布提 (Athem
Alsabti) 现在供职于英国伦敦大学天文
台。自从萨达姆政权倒台以来, 他就一
直致力于重建工作。阿尔萨布提相信,
修葺一新的天文台将成为 “整个中东地
区的天文中心”。

按照最初的设计, 整座天文台将包
含一台直径 30 米、从事毫米波观测的
射电望远镜, 和两台直径分别为 1.25 米
和 3.5 米的光学望远镜。在 1985 年第一
次遭受袭击时, 射电望远镜和 1.25 米光
学望远镜已经竣工, 正在进行调试。3
枚导弹严重损坏了射电望远镜的碟形天
线和底部的混凝土支架。1.25 米光学望
远镜的零部件基本上被洗劫一空。

尽管导弹穿透了 3.5 米望远镜巨型
圆顶的外壳, 但袭击发生时, 这台望远
镜还没有组装起来, 所有的零部件仍装
在货运用的柳条箱里, 存放在山上的其
他地点。随后, 这些零部件立即被运到
巴格达妥善保存, 因此这台当时世界上
数一数二的望远镜很可能逃过一劫。但
是, 在战火纷飞的巴格达, 人们仍然不
敢开箱检查。那些零部件是否完好, 只
能等冒险运回埃尔比勒以后再开箱查验
了。



■天文台的圆顶从里到外都诉说着战争的残酷和无人问津的失落。当地官员有意重建望远镜, 以振兴伊拉克的科学。

另一个选择是抛开现有零件，建造全新的设备。美国亚利桑那大学斯图尔德天文台的天文学家彼得·韦欣格(Peter Wehinger)说，现在的技术可以在更紧凑的空间内，建造安装更大的望远镜；他建议在现有的大圆顶内，安置一台直径6.5米的望远镜。如果这一计划得以实施，不但新设备的集光能力可以提高到以前的3倍以上，而且造价也相当划算，估计约为3,000万美元。韦欣格说，

修整一新的天文台“一定会吸引中东人支持这项计划”。

自从战争打响以来，留在伊拉克国内的天文学家已不足10人。阿尔萨布提希望天文台的重建，能够吸引散居在国外的天文学家回国。韦欣格预期，周边国家的天文学家也会对重建计划投入极大的热情。在他看来，与那些需要远涉重洋才能使用的天文设施相比，近在身边的天文台将使整个中东地区的天文学

家“建立起更强烈的归属感和自信心”。

库尔德自治区还提议，在埃尔比勒的萨拉哈丁大学(Salahaddin University)设立天体物理学及空间科学中心，并与重建的天文台合并，使之能够吸引整个中东地区的天文学家，成为一个区域性科研基地。展望这座天文台的未来，我们看到的不仅仅是修葺一新的观测基地，劫后余生的伊拉克科学也正在重新焕发生机。 (译/高倩校/虞骏)

数字

第三次工业革命开始了吗

最近涌现出来的一些技术进步并不是第三次工业革命。

撰文/罗杰·多伊尔(Rodger Doyle)

一种普遍的观点认为，计算机、互联网、纳米技术、生物工程等新兴产业，代表了人类文明发展史上的又一次根本变革。这些新近出现的技术革新有时被吹捧为“第三次工业革命”。人类历史上第一次工业革命，发生在18世纪70年代到19世纪60年代，见证了蒸汽引擎、轮船、蒸汽机车、电报、轧棉机和钢犁的出现；第二次工业革命则发生在19世纪70年代到20世纪初，见证了电话、内燃机和电灯泡的发明，以及病毒致病理论、电影和无线电广播的出现。

两次工业革命大大提高了农业生产率，将越来越多的劳动力从农场中解放出来，转而从事其他职业，最终导致了性观念的开放和妇女的解放。农业社会需要童工，因此人口出生率非常重要，任何会妨碍妇女生育的事情，例如离婚、同性恋和堕胎，都被严格禁止。

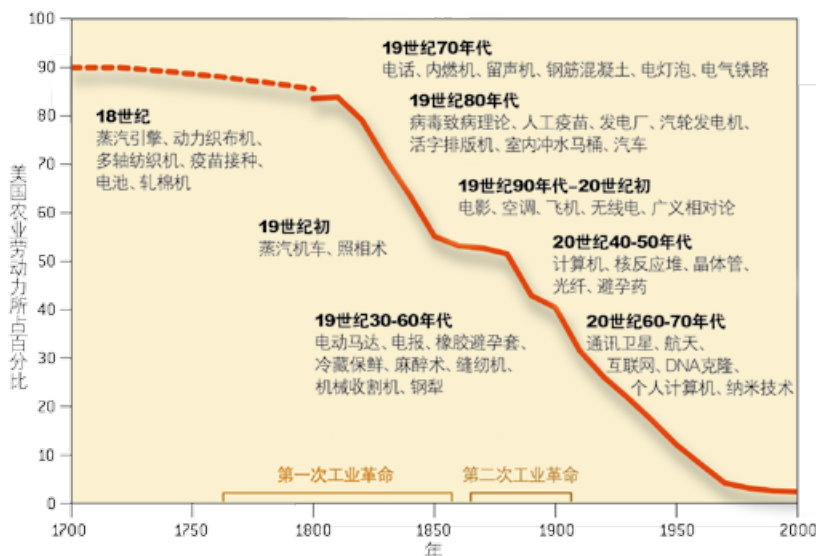
在工业社会中，随着婴儿死亡率的下降，这些禁忌逐渐消失，妇女的生育压力得以减轻。教育日益受到重视，受教育的年限越来越长，导致结婚年龄逐渐推迟。妇女获得的工作机会则日益增多，走上许多以前专属于

男人的工作岗位。婚前性行为的道德约束开始消失，这种现象甚至在20世纪60年代避孕药问世之前就已经出现。相比之下，20世纪末的那些技术发明却没能带来如此深刻的变革。

此外，第二次工业革命还带来了一些重大社会进步，这也是所谓的第三次工业革命远远比不上的。前者开创了现代公共卫生体系，让城市彻底摆脱了19世纪70年代那种烟雾弥漫、垃圾遍地的形象，改变了食物无法冷藏、住宅不通水源的情况。不仅创造了现代城市结构，还催生出两个新的社会阶层，其中之一

就是以约翰·D·洛克菲勒(John D. Rockefeller)和亨利·福特(Henry Ford)为代表的大企业家，他们与他们企业的管理阶层以及合作伙伴一起，取代了农场主和零售商，成为了美国的主流阶层。

第二次工业革命产生的另一个社会阶层是“蓝领工人”。20世纪初，“科学管理方法”的出现，将生产过程的控制大权，从机械师等熟练工人手里，转移到管理工程师手中。这套管理方法大大改变了工作的性质，因为从某种意义上说，它让一大批工人自然而然地与生产机器融为一体，提高了生产效率，也增加了他们的收入——所谓的蓝领阶层就此诞生。相比之下，20世纪末的发明并没有产生新的社会阶层，只是进一步巩固了资本家阶层原有的社会地位而已。 (译/Steed校/虞骏)



清除水中的DNA污染

水中的新兴污染物会使有害细菌的耐药性问题更加严重。

撰文/查尔斯·Q·蔡 (Charles Q. Choi)

使细菌对多种药物产生抵抗力的 DNA 可能正在污染水体，波及范围从河流一直延伸到水龙头。科学家告诫说，这些污染物若不及时清除，可能会使多种潜在有害微生物的耐药性问题更加严重。科学家在水污染物中发现了大量基因，设计能够有效清除它们的水处理方法成了一项艰巨的挑战。

世界卫生组织近期报道，每年美国有 200 多万人受耐药细菌感染，造成 1.4 万人死亡。细菌耐药性的上升，与人畜广泛使用合成药物有关。高达 95% 的抗生素未经处理就被直接排放，渗透到环境之中，有可能使那里的细菌对抗生素产生耐药性。

美国科罗拉多州立大学的环境工程师埃米·普鲁登 (Amy Pruden) 没有把焦点放在环境中出现的抗生素上，她先对那些帮助细菌产生耐药性的基因展开了搜索。细菌彼此间会定期交换 DNA，因此普鲁登担心，就算环境中的抗生素早已消散，这些耐抗生素基因仍然会长期存在，并且广泛扩散。

普鲁登及其同事在美国科罗拉多北部的水体中展开了搜索，他们的目标是那些能使微生物抵抗四环素 (tetracycline) 和磺胺类药物 (sulfonamide) 的基因，这两种抗生素都与城市生活和农场生产活动有关。他们从基本未受污染的河床沉积物中采集了细菌，还从饮用水加工厂、废水循环处理厂、农业灌溉渠、奶牛场废水池 (微生物分解奶牛排泄物的地方) 中采集了细菌，从中提取 DNA 加以分析。

直接受到城市生活和农场生产活动影响的水体中，耐抗生素基因的含量比基本未受污染的水体高出数百到数千倍不等。此外，研究人员在他们调查的所有地点都发现了这类基因，连饮用水加工厂也不例外。普鲁登指出：“尽管这项研究是在科罗拉多州进行的，但是耐抗生素基因决不会仅限于这一地



如果牧场主给奶牛注射过抗菌药物的话，奶牛场就会促进耐抗生素基因的扩散。

区，因此强调它的普遍性是非常重要的。”他在 2006 年 12 月 1 日出版的《环境科学与技术简报》特刊上公布了这些发现。

这些基因已经成为日益壮大的污染物家族中的最新成员，它们在环境中尚未得到普遍监测。这些新兴污染物包括抗生素和其他合成药物、激素、清洁剂副产品、芬芳剂和其他个人护理产品。从事研究工作的水文学家达纳·科尔平 (Dana Kolpin) 现任美国地质勘探局新兴污染物调查计划协调员，他解释说：“多年来这些污染物可能已在环境中出现过多次，但是直到现在，我们才有了分析工具，能够将它们很好地检验出来。”

通常，水处理厂着重处理的污染物包括细菌、有毒金属以及硝酸盐和磷酸盐之类的营养物质，这些营养物质可以造成藻类繁盛，对其他水生生物形成致命危害。然而诸如 DNA 之类的新兴污染物却未被清除，普鲁登解释说，“水处理厂通常的设计能够消除细菌活力，却无法摧毁细菌内部的 DNA”。

针对新兴污染物设计处理系统相当棘手。科尔平说：“我们必须保证，在使用某种方式 (比如加氯或加臭氧) 清除一种污染物时，不会产生另外一种可能会对环境产生影响的副产物。我们不想用一个问题去解决另一个问题。”

新兴的污染 持久的威胁

新兴污染物可以造成广泛的影响。以烷基酚 (alkylphenol) 为例，这种存在于多种清洁剂中的表面活性剂，会造成动物体内激素平衡的紊乱。美国地质勘探局的鱼类病理学家维基·布莱泽 (Vicki Blazer) 解释说，任何数量的新兴污染物都可能会在动物体内引起诸如此类内分泌失调。她和她的同事已经发现，在美国波托马克河 (Potomac) 和谢南多厄河 (Shenandoah) 几处地点采集回来的小口黑鲈之中，半数以上的雄鱼成了“阴阳鱼”——也就是说，这些雄鱼体内携带有发育不成熟的卵子。

此外，这些新兴污染物还会长期留存在环境中。德国伊德斯泰因市弗雷泽纽斯欧洲应用科学大学的科学家们发现，尽管在 30 年前，安定和其他现代镇静剂就已经取代了巴比妥酸盐，但是在易北河 (Elbe) 的一条靠近垃圾掩埋场的支流中，仍然聚集着大量巴比妥酸盐类药物。

尽管如此，研究人员仍在寻找有效的解决方法。例如，美国马里兰州劳雷尔市梅特卡夫和埃迪环境工程公司（Metcalf & Eddy）的废水处理专家贝弗利·斯廷森（Beverley Stinson）发现，含有高浓度细菌的活性污泥系统，可以从水流中清除至少 100 种微量污染物，清除率可达 60%~70%。她指出：“许多市政当局现在正打算斥巨资升级这样的水处理系统——主要目的并非针对新兴污染物，

而是为了清除废水中的营养物质。因此，这些系统将会获得很好的双重效益。”

与此同时，普鲁登及其同事正在研制一种实验性水处理系统，该系统用紫外线破坏水中的基因，也许还会加入过氧化物作为辅助。他们计划在 2007 年推出测试系统。斯廷森指出：“几乎可以肯定的是，这些措施能够瓦解那些 DNA 序列。”

（译 / 易家康 校 / 虞骏）

光学

提升显微镜的视力

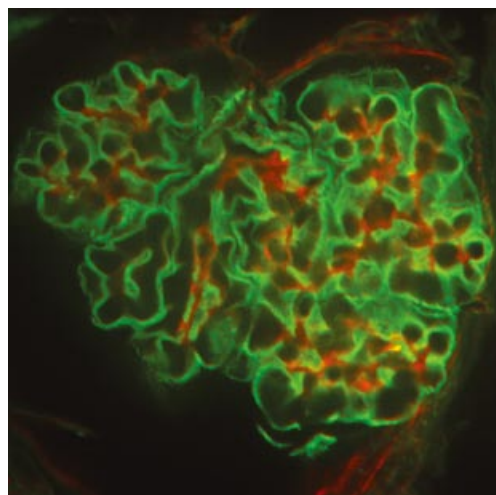
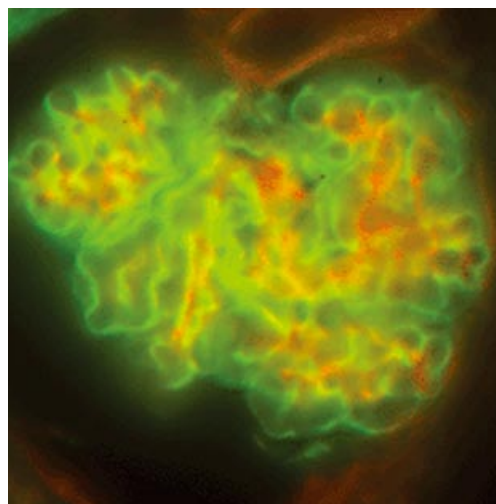
多方面的技术创新，使古老的光学显微技术在定量生物领域重新焕发了青春。

撰文/艾米丽·哈里森（Emily Harrison）

美国加利福尼亚大学旧金山分校的奥赖恩·韦纳（Orion Weiner），正从他的笔记本电脑上观看一部关于免疫细胞的影片，一个被称为“嗜中性粒细胞”（neutrophil）的免疫细胞在屏幕上游荡。这部影片是用一台常规光学显微镜拍摄的，显示出一团蛋白质向前伸出的“前锋部队”正在驱策嗜中性粒细胞。但是当他打开第二段内容相同的影片时，出现在屏幕上的情景却大不相同。这段影片是用一种非常先进的光学显微镜技术——“全内反射荧光技术”（TIRF）拍摄的，蛋白前锋部队不再是紧密结合的铁板一块，而是一个个蛋白组成的波浪，就像一块鹅卵石投入池塘后形成的涟漪一样向前推进。

韦纳从未料到自己会发现如此生动的波浪运动，直到最近，他才有机会用一台先进的光学显微镜拍摄到这种运动，这是以前根本无法做到的事情。就算现在这项技术已经存在，仍然只有极少数非常幸运的人才有机会使用这种先进工具。加利福尼亚大学旧金山分校为此启动了一项计划，旨在改变目前这个局面。

2006 年秋天，加利福尼亚大学旧金山分校的尼康先进光学显微镜成像中心正式成立，韦纳成为了众多获益的研究人员之一。作为加利福尼亚大学旧金山分校、加利福尼亚定



■在广角荧光显微镜中观察到的肾脏切片（上图）缺乏细节。相比之下，通过一种技术排除了外来干扰光线之后（下图），细节清晰了许多。

不仅仅是拍照

与显微镜相连的计算机，在高分辨率显微镜的研发过程中至关重要，这些计算机一晚上能够处理数百万 MB 的图片文件，并把图片整齐地归入图片库。美国加利福尼亚大学旧金山分校的华莱士·马歇尔（Wallace Marshall）指出，许多科学家认为，显微镜的真正未来并不在于能够拍摄更加精美的图片，而在于能利用计算机建模处理大量数据。作为该校生物化学及生物物理系的电子工程师，他正在光学显微镜的帮助下，研究细胞的工程学问题，比如细胞中可以制造多少个细胞器官，细胞器官可以造得多大等。

量生物医学研究所(BQ3)和尼康仪器公司的一项合作项目,该中心的主要目的是,把6台顶级光学显微镜送到不同领域的教师、博士后和研究生手中,以此来刺激生物学发现和显微镜技术的持续发展。

几十年来,常规光学显微镜在分辨率和探测能力方面的局限,使得它们在定量生物学的许多领域中表现得不尽如人意。实际上,为了探测纳米尺寸的结构,科学家往往改用高清晰度的显微技术,比如电子显微镜。为了对样品中某些独特分子的分布情况作定量分析,他们要破坏许多细胞,对各个可疑部位中这些分子的平均数量进行统计分析。

可是,这些细胞部件究竟如何相互协作,电子显微镜不具备洞悉这一过程的能力。加利福尼亚大学旧金山分校的生物学家罗恩·韦尔(Ron Vale)说:“从传统意义上讲,生物化学就是用理想纯度的蛋白,在试管中进行各种实验。但是随着科学的进步,我们就会想要理解生物化学——也就是说,理解那些正在发生的反应,理解那些正在接触或者相互分离的蛋白,理解一个含有上万种不同蛋白的细胞中,所有这些复杂的反应是如何发生的。”因此,他一直想把顶级的显微镜用到他的研究工作中来。

定量生物医学研究所的这6台显

微镜之所以性能卓越,多亏了科学家们在多个不同领域中取得的进步。蛋白工程师依据水母体内的绿色荧光蛋白(GFP),开发出了荧光分子,可以通过遗传技术把它们嵌合到样品之中,制成非常特殊的标记。光学和电子学上的创新,为显微镜配备了电子倍增CCD(electron-multiplying charge-coupled device),这种设备能够探测到极弱的荧光,并优化电子图像中的信噪比(signal-to-noise ratio)。如此灵敏的光学采集设备,使研究人员可以根据各自研究项目的需要安排拍摄计划,非常迅速地获得图像,或拍摄到极为清晰的照片,

另外一些改进则提高了稳定性,使研究人员可以将样品锁定在焦点长达数天,按照时间顺序连续拍摄一系列照片。这些创新使一些比较古老的技术重新焕发了青春,这其中就包括了全内反射荧光显微镜。在这种技术中,光线以特殊的角度照射到盖玻片上,使它能够发生全反射。这个过程会产生所谓的消逝光波(evanescent light wave),这种光波以指数形式衰减,在大约100纳米(1纳米等于十亿分之一米)的距离内就会消失。因此,消逝光波可以用来锁定特殊的荧光标记,而不会照亮样本的其他部分。因为它不会产生大量的溢出光线,因此全内反射荧光显微镜得到的光学切

片的厚度,只有荧光共焦显微镜(前任分辨率冠军)光学切片厚度的1/6。

新一轮显微技术浪潮正在酝酿,那些技术的先进程度丝毫不亚于成像中心现有的这些显微镜。加利福尼亚大学旧金山分校的生理学家马茨·古斯塔夫松(Mats Gustafsson)正致力于开发一项技术,也许能将细节分辨能力延伸到40纳米以下——比常规光学显微镜的绝对分辨极限精细5.5倍。结合其他一些精细的探测技术,比如能够感知小到2纳米空间距离的单原子检测技术,这些创新将使人们对细胞系统的了解迈上一个新的台阶。

伟大的棒球传奇人物约吉·贝拉(Yogi Berra)曾经说过:“仔细观察就能悟出些门道。”尼康公司、加利福尼亚大学旧金山分校和定量生物医学研究所的共同努力,将帮助研究人员在显微镜中看出更多的门道。 

(译/波特校/虞骏)

环球科学小词典

光学切片:先进的光学显微镜可以做到只对物镜焦面上的样品进行成像,也就是说,显微镜看到的,只是样品中薄薄一层物质结构,这样的薄层被称为光学切片。光学切片越薄,显微镜的分辨能力就越高。

约吉·贝拉,美国20世纪50年代的棒球传奇人物,经常说一些看似无厘头,实则非常在理的话。他的许多名言至今仍在美国广为流传,比如“未来不是过去的重复”,“预测很难,预测未来更难”等。

记忆

电击大脑 增强记忆

撰文/戴维·别洛(David Biello)

用微弱的电流刺激沉睡的学生自愿者的大脑,就可以提高他们在词汇记忆测试中的成绩。在睡前,学生们要记住46对词汇,随后平均能回忆起其中的36.5对。在经过电刺激的睡眠之后,他们平均回忆起的词汇量提高到了41.2对,而睡眠中没有受到电刺激的学生只能回忆起39.5对。这个发现表明,对大脑进行电刺激可

以使不同神经元的活动协调一致,从而带来良好效果。这项研究发表在2006年11月5日的《自然》杂志网站上。研究人员现在还在探索,这种提高记忆力的效果究竟能维持多久,以及深度睡眠怎样影响记忆——由于某种原因,人们在大约40岁之后就逐渐无法深度入睡,也就是从这时候起,人的记忆力开始下降。  (译/周林文校/虞骏)

化学

清除异腈的恶臭

一种臭不可闻的有用化合物，如今已变得芳香扑鼻。

撰文 / 史蒂文·阿什利 (Steven Ashley)

烂鱼散发的腐臭，炼油厂冒出的浓烟，臭鼬放出的臭屁，哪一种才是世界上最令人作呕的气味呢？对许多有机化学家而言，上述选项皆不正确。“最臭的”这一“桂冠”无疑当属一类被称为“异腈”(isonitrile)的碳氮化合物。在2003年钱德勒·伯尔(Chandler Burr)出版的科普传记《气味皇帝》(The Emperor of Scent)一书中，传记的主角、世界一流的嗅觉专家卢卡·图林(Luca Turin)声称，这类化合物是“臭味中的超级怪兽……它们会让你当场呕吐，把胃中的东西通通倒出来”。此外，异腈类化合物的主要成分是碳酰氯(phosgene)气体，也就是第一次世界大战中出现的、臭名昭著的化学毒气——光气。因此尽管在药物研发、聚合物制造和其他方面，异腈的用处得到了公认，但许多研究人员对这类有毒的不稳定物质仍然避而远之。

不过，这种情况不久就会改变。美国加利福尼亚大学里弗赛德分校的两位研究人员，最近已经合成了一些芳香型异腈化合物，与那些奇臭无比的同族“兄弟”相比，它们不仅拥有完全相同的功用，配制起来也更加安全。化学家迈克尔·C·皮龙(Michael C. Pirrung)和他的博士后学生苏比·戈艾(Subir Ghorai)在《美国化学学会会刊》上撰文介

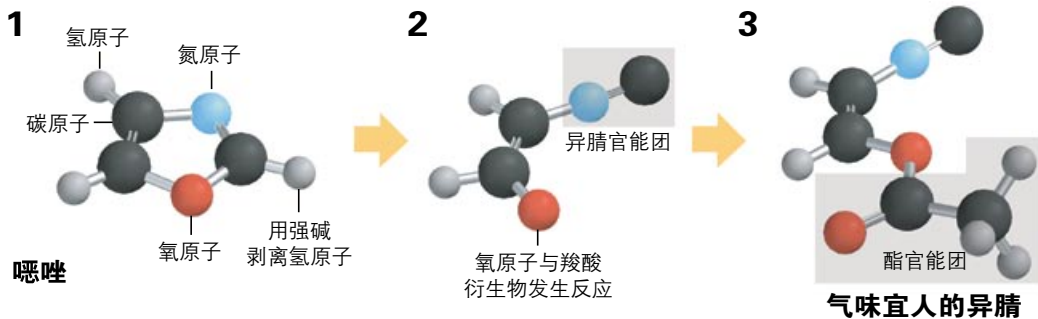
绍说，这些新型化合物的气体多种多样，拥有酱油、麦芽、旧木料、樱桃，甚至太妃糖的气味。皮龙预言：“这些化合物用途广泛且易于生产，因此我认为它们会被应用到众多场合，许多人都将使用它们。”

美国康奈尔大学的化学家布鲁斯·加南(Bruce Ganem)解释说：“有机化学家对异腈分子情有独钟的原因在于，这类分子能够将3个以上的官能团(即表现出特征活性的特殊原子团)绑定在一起。”相比之下，大多数其他化合物一次只能绑定两个官能团。加南指出，异腈的这种罕见能力对于组合化学(combinatorial chemistry)来说尤为宝贵。异腈犹如订书钉一般，可以将多种不同分子组合起来，迅速生成大量新型化合物。尽管某一种化合物具备药用价值的可能性微乎其微，但合成的新化合物种类之多、速度之快，足以弥补这一不足。他说：“研究人员会将若干种反应物混合在一起，产生一大批新型化合物，再从中筛选能够有效抵御疾病的化合物。”

从理论上讲，药理学家可能宁愿选用一种单一的反应步骤，让若干原材料发生反应生成一种产物，并让其中的绝大多数原子都能参与到反应之中。加南说，有一种异腈就能实现这种“快餐式反应”——化学家只要将少数几种化合物混合起来，这种异腈就

芳香之谜

异腈通常是一种奇臭无比的有毒化合物，美国加利福尼亚大学里弗赛德分校的化学家找到了一种方法，可以让它变得芳香馥郁。可是，这些经过改造的异腈到底为何芳香扑鼻，具体的原因尚不得而知。这种新方法在异腈分子之中安插了一个酯官能团——这类分子正是令水果和鲜花散发香气的原因。不过酯也许不是令异腈芳香扑鼻的原因，因为一种恶臭难闻的异腈中也含有酯。



■化学家可以通过以下步骤制造出一种异腈化合物：先从一种被称为恶唑的有机环状分子(1)中剥离一个氢原子；拆分之后形成的分子(2)拥有一个异腈官能团和一个氧原子，这个氧原子能够与羧酸衍生物发生反应；该反应能够生成一个酯官能团(3)，它能让异腈的气味芳香宜人。

能指导这些必需的反应有序进行。他说：“整个反应过程就像多米诺骨牌效应一样。异腈先从成分 A 中释放出一个官能团，然后发生反应并触发成分 B 释放出另一个官能团，如此不断进行下去，每一种成分都恰到好处地适时加入到这场舞会之中。”

异腈还能发生两种重要的有机化学反应——Ugi 反应和 Passerini 反应。（两者都是所谓的“多组分缩合反应”，是组合化学中的重要反应过程。）这些反应能够生成类似生物物质的分子，拥有与肽键相仿的化学键（肽是蛋白质的结构单元）。因此，这些反应的产物常常能模仿天然肽的一些功能。

皮龙和加南发现这些新型异腈纯属偶然。皮龙说：“我在一篇文章

中，找到了另外一种制造异腈的方法，”一种与光气无关的方法。他们使用的原料是噁唑（ C_3H_3NO ）和苯并噁唑（ C_7H_5NO ）。这两种化合物在人们首次研制出异腈的时候还不易制备，因此最初合成异腈时所用的原料都是光气。这些环状化合物（确切地说，是杂环分子，即由碳原子和其他原子夹杂在一起构成的环状分子）的特点是，在它的氮原子和氧原子之间有一个特殊的氢原子——与其他氢原子相比，该氢原子更容易从分子中剥离出来。因此，利用一些早期异腈化学家无法轻易制备的超强有机碱，今天的化学家就能从这个氢原子上找到突破口，轻而易举地拆散这些杂环，合成新型异腈。

皮龙回忆说：“当时我们合成了几

种异腈，然后我就问我的博士后，它们气味如何？结果他告诉我，它们并不难闻，我的好奇心一下子就激发起来。”接下来，两位化学家又继续合成出若干种异腈异构体，皮龙的学生组成了一个专门小组，对它们各不相同的宜人气味进行了分类记录。

“能够让有用的异腈变得好闻起来，这种方法确实让我非常高兴，”加南兴奋地说。“这一创新将为组合化学带来一整套有效的反应物，很可能给制药业及其他行业开创一个崭新的发展空间。”异腈是有机化学中的一种重要工具，但是数十年来，它的臭不可闻一直让有关研究处于停滞状态。芳香型异腈的问世，终于让它们有了充分施展身手的机会。SA

（译 / 施劼 校 / 虞骏）

天文学

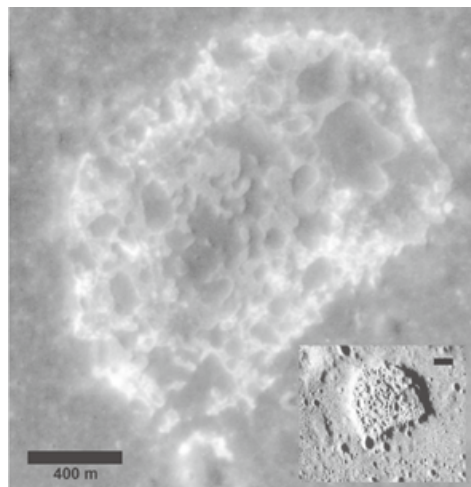
月球上的气体喷发

撰文/尼基尔·斯瓦米纳坦 (Nikhil Swaminathan)

月球是一颗寒冷而不活跃的天体，这种传统说法可能是不正确的。最近对阿波罗 15 号照片的重新分析揭示，艾娜环形山（Ina crater）内部存在着脆弱的地貌，这说明它的年龄相对年轻。该环形山的底部缺乏小行星撞击产生的陨击坑，这同样显示，该处的地质年龄不超过 1,000 万年。卫星光谱数据表明，艾娜环形山深处有着随时间推移会明显变暗的反射性矿物带。这一证据意味着，在过去的 100 万到 1,000 万年间，有一次快速气体喷发过程吹走了表面的尘埃，使艾娜的年轻地貌裸露出来。研究论文的作者，美国布朗大学的彼得·舒尔茨（Peter Schultz）说，哪怕月球上的火山已经

停止活动，它的副产品也仍在月球表面翻腾着。这一报告发表在 2006 年 11 月 9 日的《自然》杂志上。SA

（译 / 张博 校 / 虞骏）



■ D 形的艾娜环形山中陨击坑很少，说明火山活动曾经重塑过它的地形。明亮区域是悬崖陡坡和谷底碎石。低角度光照条件下拍摄的照片（插图），显示艾娜的地势稍低。

神经心理学

语言改变天性

撰文/戴维·别洛 (David Biello)

语言似乎可以改变我们在空间感知方面的先天习惯。研究人员将荷兰的成年人和儿童，与纳米比亚一个狩猎—采集部落的成年人和儿童进行了一项对比研究。荷兰人会从说话者的视角来描述空间关系，而纳米比亚人则依赖与主观视角无关的方位来描述空间位置。研究人员在自己和受试者面前各放了 5 个杯子，并在自己面前的其中一个杯子下面放了一块积木，然后让受试者们在他们面前的杯子里找出相似的积木。当积木按照与研究人员的相对位置关系摆放时（例如他们会描述说“研究人员左边的积木”），荷兰人能更轻易地找到积木。而纳米比亚人则更偏好完全以地球为参照系的情况（“积木在研究人员北面”）。当对 4 岁的德国儿童和大猿进行测试时，儿童和猿都更喜欢以环境为参照系来处理位置信息，而 8 岁的荷兰儿童却习惯以人为参照系来描述位置。4 岁德国儿童与 8 岁荷兰儿童之间的区别表明，语言改变了先天的偏好。这项研究被发表在 2006 年 10 月 30 日的美国科学院学报网站上。SA

（译 / 周林文 校 / 虞骏）

感觉

研究痛感的新工具

撰文/艾利森·斯奈德 (Alison Snyder)



■狼蛛和红辣椒产生的化学物质，在感觉神经元上的靶标受体相同。

在蜘蛛毒液中发现的3种分子，可能为探索神经元受体产生痛感的工作原理，提供了一套新的工具。这项结果发表于2006年11月9日的《自然》杂志。研究者把纯化的毒素注射进老鼠的爪子以后，老鼠的腿开始发炎红肿，它们的反应是舔发炎的部位，而且变得畏首畏尾。但是那些经过基因工程改造、不再表达受体的老鼠，在毒素发作的时候并没有作出任何反应。从某些狼蛛体内分离出来的缩氨酸的靶标受体，与辣椒素的靶标受体相同，辣椒素是红辣椒中产生辣味的化合物。但是与辣椒素不同的是，狼蛛毒素的靶标位于感觉神经元的外部，可以用来研究神经元，而不会对神经元自身造成伤害。

(译/丁莉 校/虞骏)

生物学

痣里的抗癌机制

撰文/戴维·别洛 (David Biello)



■大部分痣都不会发展成癌症

大多数痣都包含有能够引起致命皮肤癌的基因突变，不过大部分痣都没有发展成癌症。美国密歇根大学安阿伯分校的研究人员发现，尽管某种痣中的细胞包含多种突变和致癌基因，但是一系列机制会阻止它们持续分裂。科学家发现，细胞内部负责将氨基酸折叠成蛋白质的内质网，能够辨认出致癌基因的存在，并停止该基因的蛋白质折叠，因此提前关闭了肿瘤细胞。

这个机制阻止了肿瘤的增长，与此同时，癌细胞也能从中获益，因为它并没有死掉，只是不再分裂。研究人员在2006年10月号的《自然细胞生物学》杂志中指出，这种状态“更利于存活，并抵抗药物”。换句话说，这些内在机制既能预防癌症，也能促进癌症发展。

(译/李柯 校/虞骏)

寿命

降低体温 延长寿命

撰文/尼基尔·斯瓦米纳坦 (Nikhil Swaminathan)

在饮食中限制卡路里摄入的温血动物(即体温基本保持恒定的动物)活得更长久，但也会感觉寒冷。科学家们现在发现，仅仅降低体核温度，就能够延长老鼠的寿命。美国斯克里普斯研究所(位于加利福尼亚州的拉贺亚)的陶马什·巴尔特福伊(Tamas Bartfai)、布鲁诺·康蒂(Bruno Conti)及其同事利用基因手段，成功地“欺骗”了老鼠的大脑，使之误以为周围很热，从而将体温调低零点几度。所有的老鼠都能随意吃喝。体温较低的转基因老鼠比正常体温的对照老鼠多活了大约3个月，寿命延长的时间比那些限制卡路里摄入的老鼠多了大约1/3。相关报告发表在2006年11月3日的《科学》杂志上。巴尔特福伊说已经有多家高科技公司与他们的研究组接洽，有兴趣开发一种小型的感应装置，放置在人类的大脑中，用以控制调节体温的神经区域。

(译/丁莉 校/虞骏)



数字点滴

炉灶烟灰

撰文/艾利森·斯奈德 (Alison Snyder)

传统的烹饪炉灶燃烧木材和农作物废料，会排放含有微粒的烟尘。根据燃料物质的不同，这些微粒可以吸收或反射太阳能，因此导致大气变热或变冷。最近在洪都拉斯进行的一项实地研究，对传统炉灶排放的烟尘进行了分析，测量了与全球变暖有关的烟尘排放总量。结果发现，传统烹饪炉灶对大气变暖的助推作用比以往认为的更加严重。

- 全世界每天使用的传统烹饪炉灶总数：**4亿**
- 每千克木柴排放的烟灰数量(克)：**0.75**
- 以前的实验估计：**1.5**
- 实地研究的结果：**1.5**
- 每个炉灶每天平均燃烧木柴的数量(千克)：**7.5**
- 被烟尘微粒吸收的阳光中，用于加热大气的阳光所占的最低比例：**15%**
- 洪都拉斯炉灶烟灰吸收的阳光中，用于加热大气的比例：**65%**

来源：《环境科学与技术简报》，2006年12月1日。

(译/冯志华 校/虞骏)

短讯播报

■科学家认为，“现代人”大约在15万年前离开非洲，迁移到世界各地。最新的研究证明，其中一支迁徙队伍在地中海沿岸地区绕了一圈之后，又在4万到5万年前回到了非洲北部和东部，另一迁徙队伍则没有回头，他们走入了欧洲，并在那里繁衍开来。

《科学》，2006年12月15日

■科学家比较了间隔几年时间拍摄的火星表面照片，结果发现了一些新近形成的小型陨石坑。他们还找到了7年前并不存在的一条水流痕迹，证明现在火星上仍有流水出没。

《科学》，2006年12月8日

■科学家研究发现，人体肠道内拟杆菌(Bacteroidetes)的数量与体重有关：越肥胖的人，体内拟杆菌的数量就越少，这项研究可能催生一种新颖的减肥疗法。

《自然》，2006年12月21日

■很多昆虫具有能探测二氧化碳的神经元，因此蚊子会被我们呼出的二氧化碳所吸引。科学家在果蝇体内找到了两种受体，当它们同时表达时，果蝇才对二氧化碳敏感。关闭蚊子体内类似的受体基因，就能让蚊子找不到要咬的人。

《自然》，2007年1月4日

财富“进化”论

撰文 斯图尔特·A·考夫曼 (Stuart a. Kauffman)

翻译 高倩

经济的增长与物种的进化有着异曲同工之处，不可预测的偶发事件是它们各自发展的关键所在。

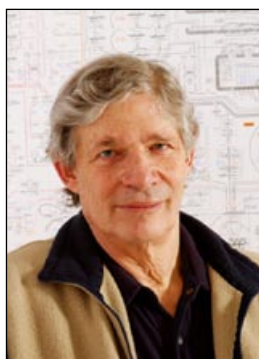
如果世界翻天覆地的变化，是在几个世纪的时间内完成，没有人会感到震惊：谁会责怪古罗马的百夫长没能预见到火箭升天的壮举呢？但另一方面，短时间内的巨大变化，倒可能会让各位大吃一惊。20世纪80年代初，你恐怕很难预料到互联网的兴起和苏联的解体。毫无预警的变化频频出现，这是最让商界头疼的事情。无论专业人士如何去努力“预测”或“适应”，仍无法真正追上未来走势——大概这就是大公司的“五年计划”几乎从来无法顺利实现的原因。

迄今为止，经济学家一直没能给那些希望更适应经济大环境的企业家们，提供太多实质性的帮助。在试图建立经济体系 (economic system) 模型的时候，经济学家着重关注那些在市场中处于平衡或趋于平衡的因素，这正是他们无力应对变化的症结所在。经济学家的灵感大都来自物理学家的相关研究成果。比如，用来预测股票价格波动幅度的布莱克—斯科尔斯模型 (the Black-Scholes model) 就是一位专业物理学家的研究成果，连其中的方程也是从热力学中借用的。

不过，如今的经济学家如果想为日益复杂的经济现象建立模型，倒不如将注意力从物理学转到生物学上来——无论如何，大自然中最复杂、最精巧的系统莫过于生物圈和生活在其中的生灵了。深入研究各种生物在生物圈中的适应和进化，将为经济学带来重大变革：让我们能够对经济适应性和经济增长动力一探究竟。

现代进化论中最关键的一个概念就是“预适应” (preadaptation)。这个术语看上去有些自相矛盾，但重要性却不言而喻：有机体的任何一部分，在它们明显的功能特性以外，都隐藏着其他的特性，一旦遇到合适的环境，这些特性便会以各种奇特的方式展示出它们的功能。就拿我们的肺来说，它的前身是鱼用来保持平衡的鱼鳔，当一些鱼类开始在水陆交界处生活时，身体内的鱼鳔也就拥有了一项全新的功能——贮存氧气。按照生物学家的说法，那些鱼鳔具备了预适应性——它们早就为最终进化成肺做好了准备。在进化过程中，变化通过一种无法预测的方式发生。为了适应新的环境，生物会“改进”和重组已有的器官，赋予它们一些全新的功能，而不是凭空设计出一种全新器官——这是一个非算法 (nonalgorithmic) 过程。

生物的适应过程就是与其他物种的互动过程，一个物种为



本文作者

斯图尔特·A·考夫曼是加拿大卡尔加里大学的生物复杂性及生物信息学教授，也是美国圣菲研究所 (Santa Fe Institute) 的客座教授。

了适应而进化出来的新能力，决定了该物种的生态龛位 (ecological niche)。同样地，每种经济物品 (economic good) 所占据的“龛位”，也由该物品与其他互补品或替代品之间的互动所决定。当经济物品的数量增加时，这些物品间相互适应的方式也以指数形式增加，空出了许多全新的龛位来容纳新物品。因此，龛位的这种自催化性增长，就成了经济增长的原动力。

我们现在还不明白，为什么有些系统的适应力相对要强一些，但对复杂性所作的研究，也多少给我们提供了一些线索。我本人对一种名叫“自旋玻璃” (spin glass) 的物理体系作过一些研究，我发现对系统各个附属部分施加的中央控制的力度大小，是一个必须考虑的重要因素。力度太大，便会使整个系统的自我构架受到限制；而力度太小，又会使构架过于松散。只有那些徘徊在有序和混乱边缘的系统，才拥有足够的整体稳定性，有能力去探索应

对挑战的各种可能的解决方案。

要想实现高度繁荣的经济发展态势，就必须想办法建立一种经济体系，使大量的全新龛位能够自发产生。这个想法或许有些激进。毕竟，它是建立在系统自身的“偶然行为” (emergent behavior) 上，而不是对系统本身加以简化研究的结果。这一想法与传统的数学处理方法背道而驰，因为它不可预测，属于非算法过程。因此，大多数经济学家会反对这些想法并不奇怪。不过毫无疑问，将生物学领域的知识移植到经济学上进行研究，将会为整个学科的变革和发展，开创一个非凡的新时代。 

环球科学小词典

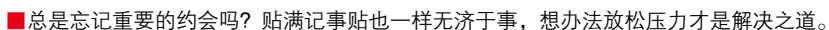
非算法过程：自然界的许多过程本质上无法用逻辑推导的方式，从前因一步步推出结果，因此被称为非算法过程。例如，意识从多个选项中自由作出选择的过程，就是一个非算法过程。

生态龛位：一个物种所处的环境及其生活习性的总称，包括该物种觅食的地点，食物的种类和大小，还有该物种每天的和季节性的生物节律等。每个物种都有自己独特的生态龛位，以此跟其他物种加以区别。

自旋玻璃：经过“冻结”形成的无序态，称作广义上的“玻璃”：原子或分子运动的冻结形成金属或其他玻璃材料；而电子自旋系统的冻结则形成“自旋玻璃”。自旋玻璃是自然界中许多复杂体系的代表，认清自旋玻璃的特性和规律对认识其他复杂体系有触类旁通的作用。

工作压力、家庭纠纷，甚至矿物质摄入不足，都有可能成为健忘的罪魁祸首。

翻译 高倩



遇到这种情况，许多人都会考虑接受“记忆特训”，或者去医生那里做个“痴呆检查”，其实这些都完全没有必要。不论是给大脑加重负担，

还是给心理加重负担，都只会让问题变得更加严重，健忘症状也会随之加剧——如此恶性循环，只会让自己更加担心，是不是得了什么脑病。与其这样加强脑力运动，还不如找到导致心理压力的原因，想办法放松自己。如果工作任务太重，就想办法减少工作量；要是某段人际关系太烦心，就一起去找专家咨询。如果压力实在太，练练瑜伽、打打太极都能起到缓解作用，让身体和精神放松下来，记忆力自然就能恢复。

如果你非要找人解释一下，到底是什么原因导致了健忘，你也可以去记忆诊所（memory clinic）挂个号。专家会对你进行一系列的生理和心理检查，来确定你的记忆是不是出了问题，出了什么问题，为什么会出问题。首先，神经科大夫会测试你的神经反射和防御机制，确定有没有生理问题；然后，心理医师会对你的归纳、识数和认物能力进行评估；接下来的时间和空间方位评估，则会测试你的抽象思维、判断力、语言能力和数学能力和几何绘图能力。本页右侧的图片，就是这类测试中的一项。这么一大堆的评估和测试，都能帮助专家诊断你的记忆问题，或者至少让你不必再那么担心。

多补水

除了压力以外，日常生活习惯也会影响记忆力。大多数人在60岁以后，记忆力或多或少都会有些减退，也有许多身体上的疾病会导致记忆力衰退，比如高血压、低血压，还有糖尿病之类的代谢疾病。

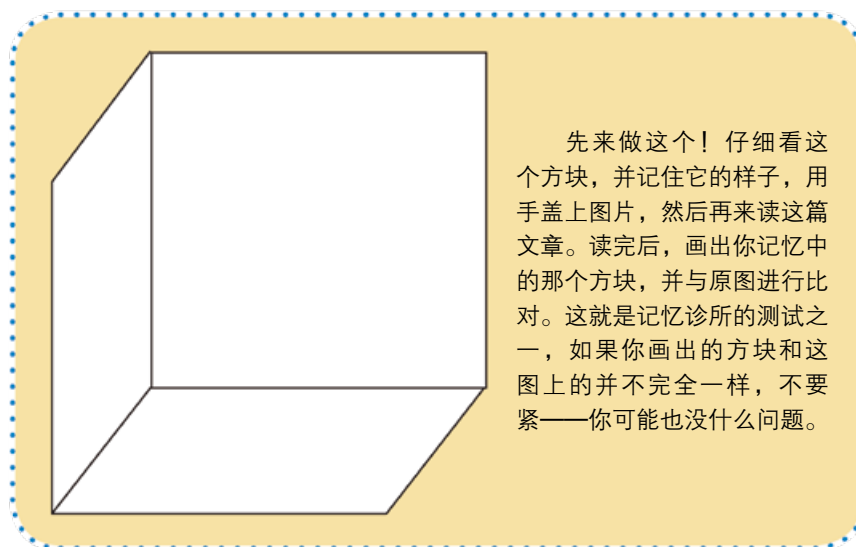
生理上的衰老是不是健忘的主要原因，只要对老人的健康情况进行分

体力和脑力锻炼、健康的饮食习惯和良好的放松技巧，都可以改善记忆。

析，就能作出准确判断。医生们发现，一些简单的改变，就能使记忆力得到显著提升。比方说，不恰当的饮食习惯，往往导致许多老人缺水、缺维生素、缺矿物质，从而影响他们的记忆。有位老人平常只吃面包和蛋糕，理由

体吸收安眠药活性成分的时间越来越长，甚至在醒来之后，体内仍有安眠药物存在。所以与更年期前相比，她们会觉得自己的记忆力严重减退，其实只是安眠药惹的祸。

导致健忘还有一个原因，就是人



只是面包房离家较近，超市则要多走上几步。所以说，不挑食，多喝水，不但能保持身体健康，还能增强记忆。

神经或精神方面出现状况也会导致健忘。孤独造成的老年抑郁、神经系统紊乱或人格障碍都能使记忆力衰退。不过，有不少医生会把这类问题导致的健忘，错误地归到老年痴呆症中。

有的时候，日常用药也会产生记忆障碍。有些妇女在更年期时经常失眠，她们会服用安眠药帮助入睡。养成习惯之后，尽管更年期已过，她们仍然不会停药。随着年龄的增长，身

们对这件事太敏感了。最近几年，媒体不断对记忆力衰退和老年痴呆进行报道，以至很多人一发现自己忘了件事，就马上联系到两者之间的关联。其实，答不出《开心辞典》里的难题，并不意味着你得了痴呆症，最多只能说明，你需要扩大一下知识面而已。总之，身体锻炼、大脑体操、健康膳食、适当休息，还有最重要的——学会减压，才是让你永葆好记性的制胜法宝。SY

本文作者

卡斯滕·布兰登贝格是德国埃森市伊丽莎白医院记忆诊所的一位老师。



动物会在悲痛的时候嚎叫，
只有人类会因悲伤或快乐而哭泣

我们为什么会哭泣？

撰文 奇普·沃尔特 (Chip Walter)
翻译 周林文



自然界中，动物总是充满稀奇古怪的特征和行为，比如大象的长鼻子、双髻鲨两只远远相隔的眼睛，还有沙丘鹤奇特而疯狂的求偶舞蹈。不过动物的这些特征和行为都不及人类的哭泣那样特别。

不过对于哭泣，人类也许并不觉得有什么特别之处。我们经常哭泣，而且几乎每天都会看到别人脸上的泪水。上世纪80年代，美国明尼苏达大学以300多名男性和女性为对象，进行了一项研究。结果显示，女性平均每月要哭5次，男性则每4周哭一次。婴儿出生后的第一件事就是放声大哭，向所有人宣告：“我来了！”我们的哭泣之所以特别，并不是因为哭喊声，而是因为充满感情的泪水。动物或许会呜咽、呻吟和嚎叫，但绝不会动情落泪，与我们亲缘关系最近的灵长类动物亦如此。猿类与其他动物一样，也有泪管，但它的功能只是清洁眼部、浸润和呵护眼球。而对于人类来说，也许在远古的某个时期，在祖先的泪腺和掌管感觉与表达深层情感的大脑区域之间，进化出了神经元连接。

就像所有遗传变异一样，导致流泪的变异也是一个“错误”。但这是很有用的错误，如果这个意外出现的基因没有让遗传它的生物获得更多的生存机会，自然选择早就把它淘汰了。问题是，我们的哭泣到底带来了什么好处？对此，研究人员已有了些眉目，他们发现的掌控人类哭泣的生理机制，足以让我们大吃一惊。

哭泣的原因有很多。简单地说，这是人类的本能，会因疼痛或悲伤而哭泣；复杂地说，这是一种高级的交流方式，它把人们紧紧联系在一起，而其他任何动物都没有这样的能力。这种联系帮助我们的祖先生存下来，而且不断发展壮大，也使得人类成为

地球上最成功、认知能力最复杂的生物。

眼泪带走烦恼

为什么痛哭一场，感觉就会轻松不少？科学家发现，哭泣时流下的眼泪能清除人体内的过多激素，而正是这些激素让我们产生了烦恼。

复杂行为的根源通常很简单，哭泣就是这样。与其他动物一样，人类也是从婴儿开始慢慢成长。在婴儿出生后的三四个月里，他们还没学会怎么去笑，也不懂得使用肢体语言，于是经常哭泣，而且哭声非常刺耳。当婴儿快满1周岁的时候，哭泣就不那么频繁了，他们开始用其他方式表达自己的需求，比如用手比划、发出咿咿呀呀的叫声或者乱扔身旁的勺子和食物（有些婴儿在出生后的3~6个月里，都不会流泪）。

随着婴儿渐渐长大，针对每一种刺激，都有了不同的哭法：因疼痛而尖叫，因孤独、难受或饥饿而啜泣——这是他们在开口说话之前，最原始的表达方式。不管原因是什么，这些哭泣都可以在动物中找到原型：包括灵长类动物在内，很多动物仍在用嚎叫作为最主要的交流方式。这或许可以解释，为什么心电图研究显示，当我们情绪低落时，会控制不住颧肌上的神经，让下巴不停颤动，或者控制不了抑制嘴角肌的神经，让我们哽咽，并且嘴角下弯。科学家还发现，就算是脑结构不完整的畸形儿，他们仍然可以哭泣，这说明早在进化初期，掌管语言和意识思维的结构还未出现时，人类就已经能哭泣了。

成人以后，我们哭泣的原因更多了。人长大了，哭泣不可避免地混入了情感因素，而哭泣所携带的信息，



■初生婴儿的啼哭没有眼泪，那是为了表达他们的需要和不适。

远不只是身体不适或生理需求那么简单了。这一变化并不意味着生理机制不再起作用了，而是说哭泣已经与大脑的高级功能和越来越微妙的情感有了更深的联系，它的作用越来越重要。对于周围的人来说，眼泪的含义是强烈而真实的感情。

人的一生通常会流下3种眼泪，因感情而流下的泪水是其中之一。另外两种眼泪具有相似的化学成分，但它们的功能却各不相同。最基本的泪水会在每次眨眼睛时出现，它浸润着我们的眼球。而反射性的泪水会在眼睛不小心被戳，或洋葱的那股刺激性气体冲向眼睛时涌出来。不过，情感性眼泪却有独特的化学成分，分析这些成分，我们就可以了解它的作用。美国明尼苏达大学的生物学家威廉·H·弗雷二世(William H. Frey II)发现，在情感性眼泪中，蛋白质的种

类比反射性眼泪多20%~25%，钾含量更是后者的4倍，而且锰浓度要比血清中的锰浓度高30倍。这种眼泪还富含激素，比如肾上腺皮质激素(adrenocorticotropin，人在承受压力时释放的一种激素)和催乳素(prolactin，作用是控制泪腺上的神经递质受体)。

弗雷认为，眼泪中复杂的化学组成与哭泣时的情绪有关。例如，在慢性抑郁症患者的大脑中，锰浓度偏高；焦虑不安、压力过大就会产生过量的肾上腺皮质激素；而女性体内高浓度的催乳素则可以解释她们为什么比男人爱哭，特别是在青春期之后。

弗雷推测，由于有大量的激素存在，当我们经受强烈的感情冲击时，人体就会用泪水将多余的化学物质“冲走”。也许，这就是我们在劝慰别人时，会说“尽情哭吧”的原因。

但也有科学家不同意弗雷的观

点。仅凭眼泪，真可以清除体内过多的激素，让我们在哭过之后感觉轻松吗？要得到确切的答案非常困难。我们的泪管不够粗，也没有那么高的效率。即使是长时间痛哭，流出的富含激素的泪水也只有很少一点。那么是不是还有其他原因，让我们在哭过之后感觉轻松呢？

在哭泣中镇静

每经历一次紧急情况，我们都需要镇静下来，否则脑血管就会因承受不住压力而出现意外。幸好，我们会哭泣，因为哭泣就是最好的镇静方式。

让人费解的事情还不只这些。在自然界中，任何系统面临周遭压力时，都会努力维持原来的平衡状态。这种状态既不能太热也不能太冷(金发姑娘定律)，既不能太过活跃也不能太过迟缓。如果环境破坏了平衡，把状态推向一个极端，系统就会努力找回平衡，尽快恢复常态。不论是一片森林，还是一个人、一条鱼，都会寻找适合自己的环境，这是最原始的需求，也可能是我们哭泣的原因。

自主神经系统控制着非随意活动(如呼吸和心跳)和器官(如肾和大脑)的基本功能。自主神经系统可以分为两个子系统，即交感神经系统和副交感神经系统。这两个系统在控制哭泣中的作用备受争议，但又耐人寻味。交感神经系统会在生理、心理和情绪上为我们做好逃跑或战斗的准备，当受到惊吓时，交感神经系统就会发出信号，让身体顶住压力坚持战斗或者转身逃跑。而在这之后，副交感神经系统会让身体恢复正常。

20世纪60年代，研究人员提出，我们哭泣是因为苦恼而不是要寻找解脱，所以是交感神经系统控制着哭泣。

本文作者

奇普·沃尔特是著名的科普作家，在国际上发表了多部著作。他的作品涵盖了“智人”的各种奇特而复杂的行为，以及他们所发明的技术。

但也有不少科学家的观点却与之相反，他们认为哭泣会让人们在不知不觉中镇静下来。科学家作了很多研究，但始终无法得出结论，因为在实验室里，参与试验的人很难产生真切的悲伤，让他们哭泣更是难上加难，况且还要对他们的悲伤和哭泣进行测试。但是，一些科学家，比如美国斯坦福大学的詹姆斯·J·格罗斯（James J. Gross），已经试着作过这样的试验，而且据此进行推测：哭泣可能会让我们以及周围的人心烦意乱，最终它还是会有镇静的作用。还有一些研究表明，如果交感神经系统中央的神经瘫痪了，病人会更频繁地哭泣；而具有重要功能的副交感神经被损坏了，病人的哭泣次数明显减少。这个发现暗示，我们或许不是因为苦恼而哭，而是为了摆脱苦恼。换句话说，哭泣重启了我们的情绪开关。

如果真是这样，那么至少在生理学上，哭泣是金发姑娘定律的最好例子。毕竟，经历了每次搏斗或逃跑，以及万般紧急的状况之后，我们都需要镇定下来。要不然，这种紧张状态会造成动脉破裂或中风。我们的祖先曾面临种种危险，以哭泣来镇定自己的情绪不仅实用，而且非常必要，否则他们早就因为一系列脑血管意外、接二连三的冠状动脉血栓而从地球上消失了。

眼泪的力量

流泪似乎是脆弱的表现，但这只是表面现象。实际上，眼泪拥有强大的力量：它加强了人与人之间的情感联系，使我们更加紧密地团结在一起，从而获得更多的生存机会。

不过，上述理论都没能准确解释为什么我们会流泪。莎士比亚笔下的

李尔王认为，真正动容就要热泪盈眶，这在进化上有什么依据呢？泪水不仅会模糊视线，更会让情绪起伏不定的我们脆弱不堪。人类的社会属性也许能提供一些线索。在灵长类动物之间，永远不会有人与人之间这样的密切关系。人类起源于热带草原而不是丛林，草原上危机四伏，人类必须彼此合作方能度过危机。但人与人之间也不乏竞争，每个经历了职场勾心斗角的人都深有体会。人类的高级智慧只会让结盟和竞争变得更复杂，所以从古到

今，人类的日常活动催生了种种利于交流的特性：从微妙的肢体动作和面部表情，到含义明确的语言，再到哭泣。

1975年，以色列特拉维夫大学的生物学家阿莫茨·扎哈维（Amotz Zahavi），构想出一个有趣的理论，他用这个理论来解释动物的一些特殊行为——那些看似有害于生存，实际上极其有用的行为。例如，雄孔雀巨大的尾羽花哨显眼，不仅有碍飞行，而且极易招惹掠食者，为什么这样



■悲伤的动物会哭，但不会因动情而落泪。



■动物的眼泪只是为了维持功能——浸润和呵护眼球。



■在逃跑之前高高跃起可以增加生存的机会，因为那传递着一个信息：“我跑得很快，你抓不到的。”同样，人类动情的眼泪所传递的信息，也能促使人类更加团结，以求生存。

的“累赘”会保留至今？当岩羚羊察觉到狮子即将发动攻击时，为什么会像弹簧一样跳到空中，而不是撒腿就跑？

这些特征和行为是扎哈维提出的“妨碍原理”的例子。从表面上看，孔雀和岩羚羊会付出高昂的代价：不仅会耗费大量的能量和资源，而且很可能带来生命危险。但扎哈维推测，它们付出不菲代价的同时，也发出了强烈的信号。以岩羚羊为例，它的纵

身一跳马上让自己处于不利境地：已经没有足够的时间用来逃避垂涎欲滴的掠食者。但跳跃也是一种示威：“看我跑得多快、跳得多高，你别想抓住我，还是节省点力气吧。”通常，跃跃欲试的狮子或豹子接收到这一信息后，立即会进行一番快速权衡，然后转而攻击不那么强壮的猎物。

对人类这样的高度社会化物种来说，眼泪也有相似的功能。眼泪惹人注意，而且所造成的视觉模糊是个妨

害，这会让我们付出昂贵代价。人类只有感情强烈时才会流泪，所以不容易假装。眼泪发出了准确无误的扎哈维式信号：导致落泪的情感是绝对真实的，务必要认真对待。毕竟，在我们最脆弱的时候，眼泪把我们暴露给了他人。当眼泪就要夺眶而出时，个人的防御措施崩溃了。然而，哭泣就像一条纽带，加强了人与人之间的情感联系，使我们更加紧密地团结在一起，这也许是一种更为有效的生存手段。

母亲们对婴儿的哭泣非常敏感，尽管小家伙流不出一滴眼泪，但是很明显，婴儿需要母亲的帮助了。但不久之后，孩子开始蹒跚学步了，情况也就不同了。哭泣是一种交流手段，也是可以自己控制的（确实如此）。当孩子更大一些时，他们会发现，哭泣是吸引注意的最有效方式，而且百试不爽，因此即使已能自行打理生活，完全不需要帮助了，他们也会故意哭泣。

美国芝加哥大学灵长类动物学家达里奥·马埃斯特里皮耶里（Dario Maestripieri）发现，婴儿期的恒河猴也有这种行为。在婴儿期，它们常对着母猴哭喊。在断奶前后，小猴的嚎叫、呜咽就更厉害了。起初，猴妈妈也会立即跑过来，但随着哭喊次数的增加，猴妈妈的反应渐渐冷淡了，因为“假警报”太多了。最后，猴妈妈变得多疑，而小猴也哭得少了，因为哭泣已经无法给它们带来期望中的关注了。这样的结果是，小猴变得更独立，从长远来看，这会让他们获得更多的生存机会。

对人类来说，眼泪是母亲们的辅助工具，可以用来辨别两三岁的孩子是否在“谎报军情”。在孩子不高兴或无端地想引起注意时，通常会哭闹不止，不过这样的哭泣是不会有眼泪

的，想必父母们都有此经历。很快，父母们就学会在孩子哭泣时观察是否有泪水流出，眼泪才是孩子确实需要帮助的可靠信号。

重要的交流元素

经过研究，科学家得出结论：眼泪是一种重要的交流元素，它是对人类多种多样的交流方式的一种补充，不仅实用，而且有效。

美国瓦萨尔学院的心理学教授兰道夫·R·科尼利厄斯（Randolph R. Cornelius）是专门研究人类哭泣的专家。他对眼泪进行了非常有趣的研究，指出眼泪是人类本性的流露。从2000年开始，科尼利厄斯和学生们收集了来自世界各地的杂志照片和电视节目的视频图像，图片上的人物都真切地流下了眼泪。他们把一些照片制作成两个版本：一个是原来的图片，人物的脸上挂着泪水；另一个则经过数字处理去掉了眼泪。

随后，科尼利厄斯和同事以及他们请来的自愿者一起坐在电脑面前，观看电脑中的幻灯片（每次只有一个自愿者观看）。每张幻灯片包括两幅图片：一幅是有眼泪的图片，另一幅图片则没有眼泪。当然，所有自愿者看到的都是两个不同的人物。然后，研究人员让每位自愿者说出照片中的人物处于怎样的情绪中，在面对拥有这种表情的人时会有什么反应。

自愿者们普遍认为，比起照片中没有流泪的人，泪眼朦胧或者泪流满面的人正经历着强烈的情感（大多数是悲伤的）。而自愿者看到被抹去眼泪的照片时，他们就琢磨不透那些人物的感受了，有人说那是悲伤，也有人说是恐惧或厌恶，不一而足。科尼利厄斯的结论是：眼泪为我们的哭添



在进化过程中的某个时刻，泪管以某种方式与大脑的情感中枢建立了连接。

加了一种重要的交流元素，它是对人类多种多样的交流方式的一种补充，实用而有效。

600万年来，我们的身体已经发生了巨大变化，这些变化多数发生在颈部以上。我们大脑的尺寸先后扩大了2倍，脸部也发生了变化，于是表达情感的方式也随之而变。由于偶然的机，我们进化出了发达的表情肌肉，这些肌肉帮助人们彼此间准确地交流沟通，但有时也会被居心叵测的人用来蛊惑他人。确切地说，大脑中与感情表达有关的区域，以某种方式和眼睛上方的泪腺联系在一起，才赋

予了肌肉这种交际功能。

复杂的社会关系需要同样复杂的交流方式来维持。对我们人类来说，语言充分满足了这个需要。而眼泪因为携带着强烈而明显的信息，也同样满足这个需要。眼泪把真实的情感与人类的大脑区域结合了起来，它帮助我们表达从心底涌现出的难以抑制的感情，而这种情感是任何语言都难以表达的。我们都了解这样的感觉，不论是悲伤、沮丧、欢乐、自豪还是痛苦。眼泪把我们的交流层次带到了语句和音节无法企及的高度，没有眼泪，也许就没有今天的人类。SA

扩展阅读

Biological Signals as Handicaps. A. Grafen in *Journal of Theoretical Biology*, Vol. 144, No. 4, pages 517–546; June 21, 1990.

The Science of Emotion: Research and Tradition in the Psychology of Emotion. Randolph R. Cornelius. Prentice-Hall, 1995.

The Handicap Principle: A Missing Piece of Darwin's Puzzle. Amotz Zahavi et al. Oxford University Press, 1997.

The Symbolic Species: The Co-Evolution of Language and the Brain. Terrence W. Deacon. W. W. Norton, 1998.

Crying: A Natural and Cultural History of Tears. Tom Lutz. W. W. Norton, 2001.

A Darwinian Look at a Wailing Baby. Carl Zimmer in *New York Times*; March 8, 2005.

Maternal Effects in Mammals. Edited by Dario Maestripieri and Jill M. Mateo. University of Chicago Press (in press).

The background of the entire image is a repeating grid of black and white portraits of Charles Darwin. Each portrait is tilted at a 45-degree angle. The grid covers the entire frame. One portrait, located in the lower-middle section, is highlighted with a red background, making it stand out from the others.

人类进化使癌细胞受益

撰文 卡尔·齐默 (Carl Zimmer)
翻译 胡晨 审校 李锦军

■ 优胜劣态的自然选择，让生命从单个细胞开始，进化出了高度复杂的智慧生灵——人类。然而，人类并不是进化的唯一受益者。在人体器官组织内部，另一场竞争也悄然展开。每当人体进化产生新的机制和能力，癌细胞总能迅速适应变化，并将这些功能收归己用，借此变得更具侵略性。癌细胞巧妙地将人类进化变成了它们的帮凶。了解癌细胞的进化历史，将揭开癌症难以治愈的真相，也将为攻克癌症开辟新的方向。

自然选择并非无所不能。尽管生物经过进化，获得了非常复杂的适应自然的能力，但是在疾病面前，我们仍然非常脆弱。在所有的疾病之中，最具悲剧性、最难对付的，当数癌症。癌症并不罕见：39% 的女性会在一生中被诊断出患有某种癌症，而男性患癌症的可能性则高达 45%。这些恶性肿瘤以奇异的方式，巧妙地适应了它身处的环境，得以存活下来。它们身怀绝技——能够在普通细胞分裂至终末（即失去分裂能力）之后，持续分裂增殖；可以破坏周围组织，为自身的生长创造空间；甚至还能欺骗机体为肿瘤的发展壮大提供能量。然而，残害我们的肿瘤并不是外来寄生物，它们源于我们自身的细胞，却反过来侵害我们自己。

对于进化生物学家而言，这些特征使得肿瘤成了一个既可怕又诱人的难题。如果说自然选择威力惊人，足以使生物具备复杂的适应性，进化出眼睛这般精巧的感觉器官和免疫系统这样成熟的保护机制，那它为何能够容忍我们自身的细胞反戈相向呢？一些研究人员认为，问题的关键在于进化过程本身。人类已经进化出了一些肿瘤防御系统，但是这些系统能力有限，无法彻底清除肿瘤。更具讽刺意味的是，自然选择已经在无意间，为肿瘤的生长提供了可以利用的工具。

有关肿瘤进化的研究才刚刚开始，关于进化机制仍有许多争论，还有很多假设留待实验验证。一些医学研究人员仍然怀疑，这些研究能否改变他们抗击癌症的方式。进化生物学家承认，他们的工作不可能立即找到治愈癌症的办法，不过他们认为，了解肿瘤的进化历程可以提供一些其他研究无法揭示的线索。“显然，我们所做的任何研究，都是为了找到攻克癌症的妙计，”美国劳

伦斯伯克利国家实验室的朱迪思·坎皮西（Judith Campisi）如是说。

癌症初现

癌症也是进化过程的优胜者，只不过它的进化并非发生在生物圈中，而是发生在某一器官的内部。

从根源上说，肿瘤是一种多细胞性疾病。我们的单细胞祖先通过一分为二的方式分裂繁衍。大约 7 亿年前，动物开始出现。自那以后，动物体内的细胞一直利用从远祖遗传下来的分子机制，继续以分裂的方式增殖。这些细胞在分裂的同时，还慢慢具备了特殊的功能（即开始出现特化），形成了不同类型的组织。多细胞生物今天拥有的复杂结构，是随着一些新基因的出现而产生的。这些基因可以控制细胞的分裂——比如当某一器官长到成体大小时，就下令细胞停止增殖。多细胞生物体的出现是进化史上的一大进步，今天数以百万计的动物物种便是明证。不过多细胞体也带来了影响深远的危险因素。生物体内的细胞每分裂一次，它的 DNA 就获得了一次发生致癌突变的机会。正如坎皮西所言：“细胞的每次分裂，都要面临导致癌变的风险。”

例如，某些罕见突变可能导致细胞失去控制而无限增殖。另一些突变则会让问题更加严重：它们会让这些失控生长的细胞侵入周围组织，甚至扩散到全身；或者使肿瘤细胞逃避免疫系统的追杀；或者吸引新生血管为肿瘤细胞供应新鲜氧气。

换句话说，癌症在我们体内重现了“适者生存”的进化过程。对于生物体来说，自然选

“细胞的每次分裂，都要面临导致癌变的风险。” ——朱迪思·坎皮西

择通过遗传变异使一些生物获得更多的繁殖优势；被“选中”的突变可以在后代中持续存在，并越来越普遍。在肿瘤中，细胞扮演了类似生物体的角色。致癌的DNA变异使某些细胞的增殖能力更强。即使只在单个肿瘤内部，具备更强适应性的细胞也会超越适应能力较弱的同类细胞。“这就遵循了达尔文的进化论，只不过它发生在某一器官内部，”美国加利福尼亚大学欧文分校的纳塔丽娅·科马罗娃（Natalia Komarova）解释说。

有限的防御

自然选择创造了多种抵御癌症的方法，但这些手段犹如一把双刃剑，在抵御癌症的同时，也会给自身的健康造成威胁。

虽然在癌症面前，我们的身体是脆弱的，但仍然有许多办法可以抵御癌症。这些方法很可能是自然选择的结果，因为变异使我们的祖先减少了壮年时死于癌症的可能，从而提高了繁殖成效。但是从每年数百万人死于癌症这一事实来看，这些防御手段显然没有彻底消灭癌症。通过研究这些防御机制的进化，生物学家试图找到它们未能成功的原因。

肿瘤抑制蛋白是抵御癌症最有效的手段之一。研究显示，其中一些蛋白质可以监视细胞的分裂过程，从而

阻止肿瘤的发生。如果某个细胞以异常的速度分裂增殖，这些蛋白就会诱导该细胞死亡，或使它进入衰老状态，提前失去功能——在这种状态下，细胞仍然存活，却再也无法分裂。对我们的生存来说，肿瘤抑制蛋白非常重要，但科学家近来已经发现了一些奇怪的现象：某些时候，没有这些蛋白我们会活得更好。

美国北卡罗来纳大学查普希尔分校的诺曼·E·沙普尔斯（Norman E. Sharpless）及其同事，利用遗传工程培育了一个小鼠种系，它们缺少编码p16蛋白的功能性基因，因此无法产生这种蛋白。p16是一种肿瘤抑制蛋白，确切的名称应该是p16-Ink4a，沙普尔斯希望用他培育的小鼠，来研究这种蛋白的功能。2000年9月，该研究小组公布了关于这种小鼠的三项研究结果。不出所料，这些小鼠更易患癌，而且肿瘤出现时，小鼠仅12月龄，相当于人类的青壮年时期。

但是，丧失p16基因也有好的一面。当该种系的小鼠衰老时，细胞的行为依然宛如年轻时一般。在一个实验中，这些科学家研究了一些高龄小鼠，其中一些拥有正常的p16基因，另一些则没有这些基因。他们破坏了这些小鼠胰脏中分泌胰岛素的细胞（即产胰岛素细胞）。正常的小鼠无法再分泌胰岛素，并且发展出了致命的糖尿病。但是那些缺失p16蛋白的小鼠只患上了轻微的糖尿病，并且存活

了下来。这些小鼠体内产胰岛素细胞的祖细胞仍然能够快速倍增，新生的细胞会被用来再造胰脏。科学家检查了这些小鼠血液和大脑中的细胞，也发现了类似的结果：p16使小鼠能够抵御癌症，也会使它们衰老。

这些结果支持了坎皮西几年前提出的一个假设：自然选择偏向于支持p16这样的抗癌蛋白，但是支持的力量却有所保留。如果这些蛋白作用过于强大，它们就会使机体过快衰老，反而对健康造成威胁。坎皮西承认：“这仍然只是一个有效的假设，但是实验数据正变得越来越有力。”

延缓癌症发作

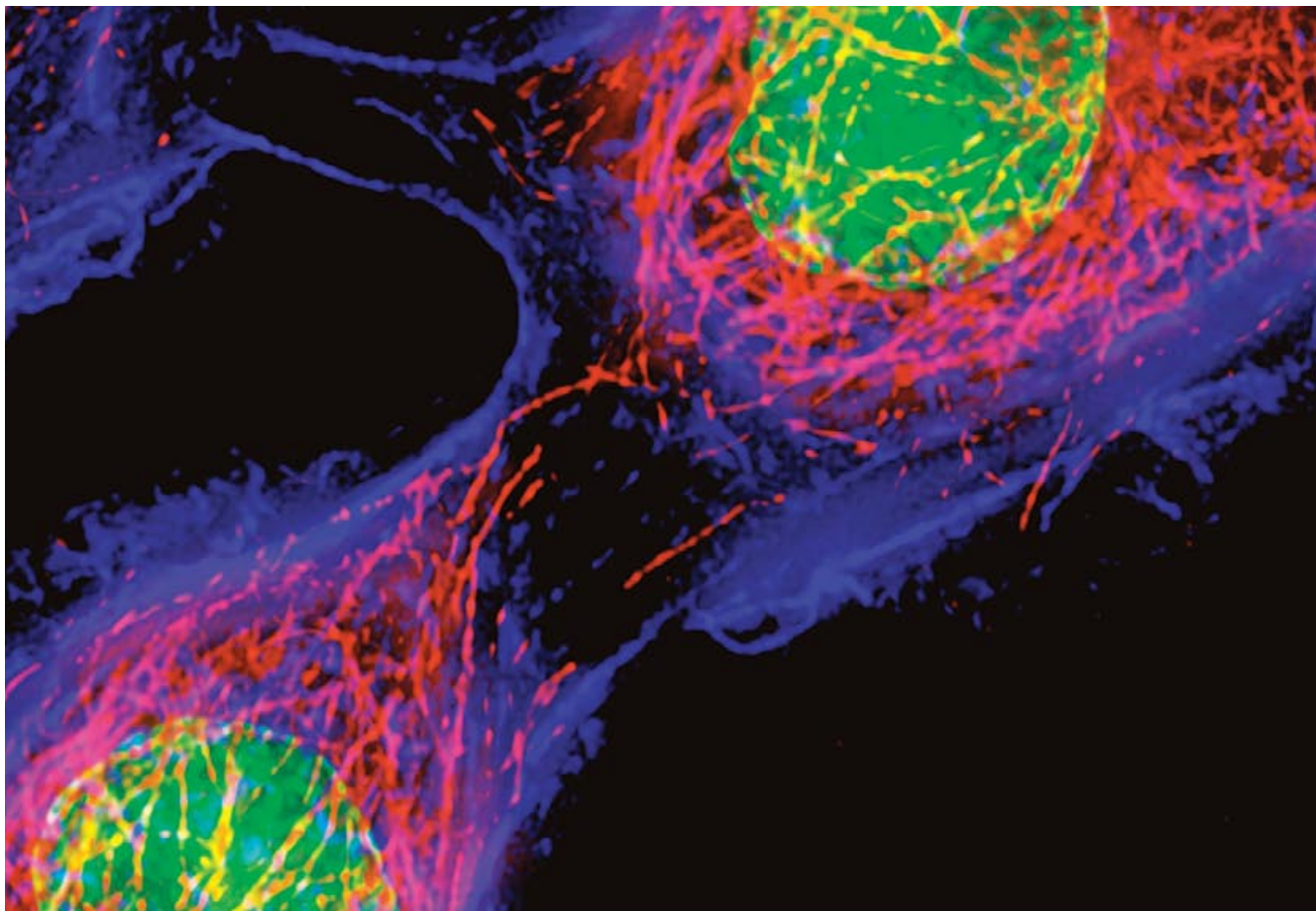
自然选择为癌症设下了多道防线，只是将癌症拖延到生命暮年，并不能完全消除癌症。

获得自然选择青睐的抗病机制，并非一定具备彻底清除疾病的能力，如果这种机制能够将人们患病的年龄推迟到晚年，平均下来，有这种抗病机制的人就可以比那些没有抗病机制的人拥有更多的后代。对于那些罹患癌症的老人来说，进化似乎是冷酷无情的。不过正如挪威奥斯陆大学的雅勒·布雷维克（Jarle Breivik）指出的那样：“自然选择并不会眷顾那些使我们长寿、令我们生活安逸的基因。它们选择的是那些有能力将自身信息传递给后代的基因。”

比如p16这样的抗癌蛋白，它的优点主要体现在年轻人身上，而非老者。当p16使一个细胞进入衰老状态时，该细胞不仅会停止分裂，它还会使一些蛋白合成过剩。血管内皮生长因子（VEGF）就是其中之一，它可以促进更多血管的新生，给肿瘤供应更多养分，因而促进了肿瘤的生长。在年青人体内，p16的主要作用大概

概述 / 肿瘤进化

- ◆在抵御癌症方面，自然选择的能力有限。进化确实造就了一些抗癌能力，但往往只是将癌症拖延到生命暮年，并不能完全消除癌症。
- ◆一些基因可以促进癌症的发生，并使癌细胞极具侵略性。进化过程显然对这些基因情有独钟，网开一面。
- ◆理解癌症的进化史，理解单个肿瘤在个体中的进化，能为攻克这种疾病提供新的思路。



■处于分裂最后阶段的细胞

是抑制肿瘤细胞。但是随着时间的推移，它可能会使衰老的细胞群体扩大，使人在老年时更容易患癌。

延缓癌症发生的另一条途径是建立多道防线。譬如在结肠癌的研究中，一些研究人员发现，结肠细胞需要获得多个基因的突变才能发生癌变。结肠癌是世界第三大常见的癌症，可见这些防线不能阻止人们患上结肠癌。但是在一个细胞内发生多种变异的要求，降低了年轻人患结肠癌的可能性。被诊断出结肠癌的患者平均年龄在70岁左右。

当然，并非所有的肿瘤都只光顾老年人。一种叫做“视网膜母细胞瘤”（retinoblastoma）的癌症的患者大多是儿童。不过美国加利福尼亚大学里弗赛德分校的莱昂纳德·努尼（Leonard Nunney）认为，进化同样可以解释这

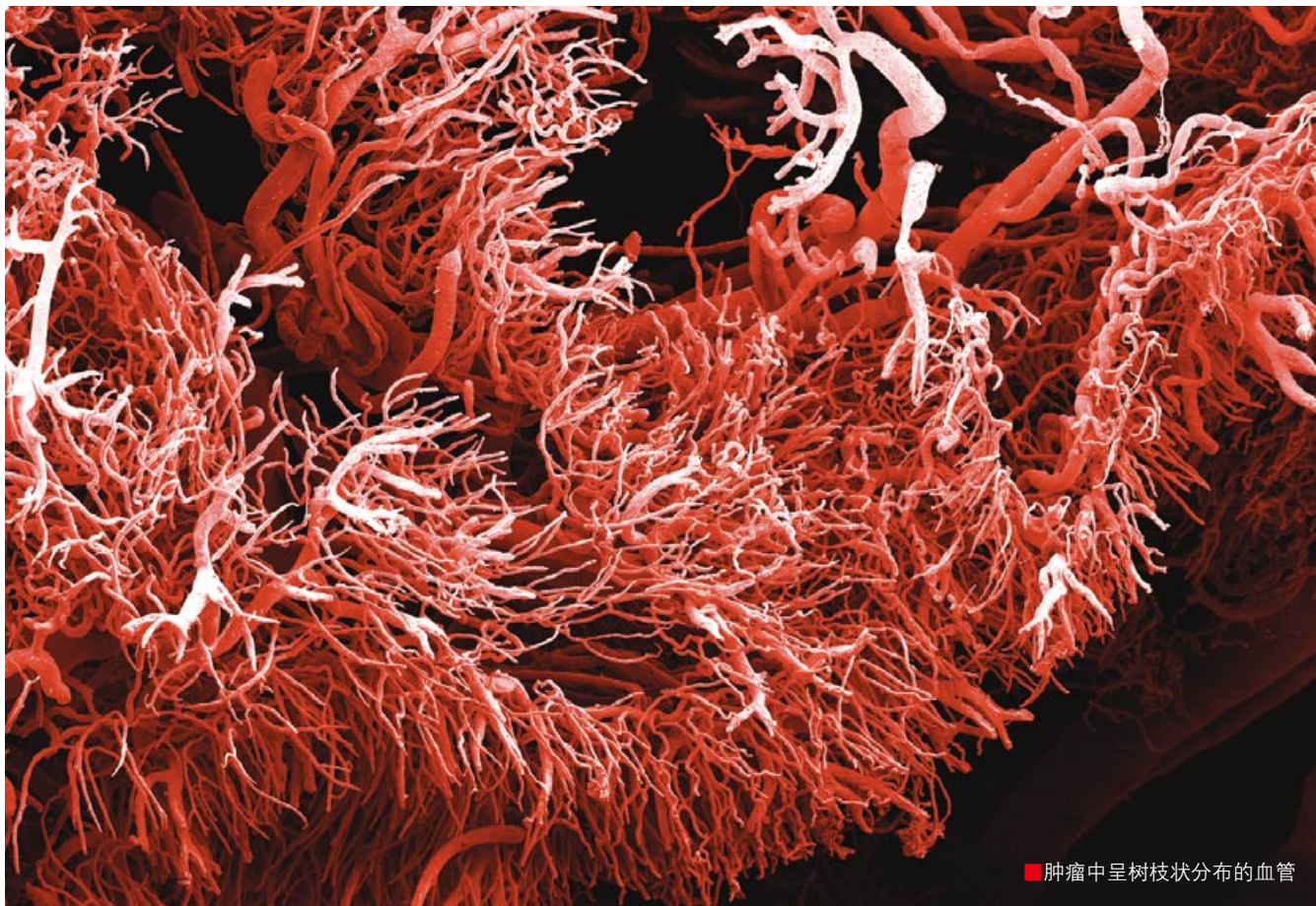
两种癌症在防御机制方面的不同。努尼指出，结肠细胞获得危险突变的机会比视网膜细胞高得多。结肠是一个由很多细胞组成的大器官，在人的一生中，这些细胞一直在持续复制，用新生细胞替代脱落的衰老细胞。这些风险助长了结肠细胞在抗癌防御方面的进化。

另一方面，用努尼的话来说，视网膜是“你能够想象的最小的组织”。这一小群视网膜细胞在儿童长到五岁时便停止增殖。由于视网膜当中很少有细胞分裂，所以发生肿瘤的机会也少得多。视网膜母细胞瘤极为罕见，发病率仅为百万分之四。努尼认为，正因为风险如此之低，自然选择才无法专门针对这种癌症，产生并推广新的防御机制。因为这种防御机制对人群的平均繁衍优势影响甚微。

帮肿瘤制造工具

自然选择在无意之间，成了癌症的帮凶，为它们制造多种工具来侵占人体。

进化生物学家对那些导致人类形成的基因改变进行了研究，结果发现了一个令人不安的事实：自然选择也许已经改变了一些基因，使肿瘤细胞变得更加凶险。大约600万年前，我们人类的始祖和类人猿分道扬镳，在适应新环境的过程中，他们经历了自然选择，变成了能够制造工具、可以在草原上直立行走的原始人类。科学家能够辨别人类有哪些基因与始祖基本一致，哪些则在进化压力下发生了显著的改变。他们发现，一些发生了重大改变的基因，正在癌症中扮演着重要角色。



■肿瘤中呈树枝状分布的血管

肿瘤就像胎盘一样，能够刺激新生血管的形成。

科学家猜测，自然选择青睐这些基因的原因在于，它们带来的适应性优点，超过了它们可能引起的危害。其中一种高度进化的癌基因会制造一种叫做“脂肪酸合成酶”（fatty acid synthase，缩写为FAS）的蛋白。正常细胞利用这种蛋白制造脂肪酸，这些脂肪酸可以发挥很多重要的功能，比如形成细胞膜和储存能量。可是在

肿瘤中，肿瘤细胞产生脂肪酸合成酶的效率却高得多。这种蛋白对于肿瘤细胞来说非常重要，一旦编码该蛋白的FAS基因活性被抑制，这些肿瘤细胞就难逃一死。爱尔兰都柏林城市大学的玛丽·J·奥康奈尔（Mary J. O'Connell）和爱尔兰国立大学的詹姆斯·麦金纳尼（James McNerney）比较了人类和其他哺乳动物的FAS基

因序列，他们发现人类的FAS基因经历了前所未有的进化演变。“这一基因在我们人类种系中确实发生了改变，”麦金纳尼如是说。

麦金纳尼无法说明脂肪酸合成酶在人类体内有什么不同的功能，不过已故的精神病学家戴维·霍罗宾（David Horrobin）在20世纪90年代提出的一个假设激发了他的灵感。霍罗宾认为，人脑大小和能力的大幅增长得益于新型脂肪酸的产生。神经元需要脂肪酸来构建细胞膜和细胞连接。麦金纳尼推测：“我们合成脂肪的能力也许是令我们脑容量增大的原因之一。”不过这种新的能力可能成了肿瘤细胞借用的工具。比如，肿瘤细胞可能利用脂肪酸合成酶作为额外的能量来源。

许多快速进化的肿瘤基因通常会在与生殖有关的组织（如胎盘）中制

本文作者

卡尔·齐默，经常为《纽约时报》、《国家地理》和其他一些刊物撰写关于进化论的文章。他已出版五部著作，其中包括《寄生霸主》（Parasite Rex）和《血肉灵魂》（Soul Made Flesh）。目前他正在撰写一本关于大肠杆菌与生命意义的书。他的博客（www.scienceblogs.com/loom），曾荣获《科学美国人》所颁发的“网络科学技术奖”。齐默还曾写过一篇关于自我识别的神经生物学的文章，刊登在2005年11月号的《科学美国人》上。

本文译者

胡晨，浙江大学医学院在读博士，目前从事肿瘤干细胞研究。

本文审校

李锦军，上海交通大学医学院肿瘤分子病理学教授，博士生导师。目前任职于该校肿瘤研究所癌基因及相关基因国家重点实验室，主要研究领域包括肿瘤相关基因的基础研究、肿瘤转移分子机制、肿瘤干细胞等。

造蛋白质。加拿大英属哥伦比亚西蒙弗雷泽大学的伯纳德·克雷斯皮（Bernard Crespi）和美国东卡罗来纳大学的凯尔·萨默斯（Kyle Summers）认为，这些基因是胎儿和母亲之间进化竞争的结果。

从胎儿的角度上说，自然选择偏爱那些能让胎儿从母亲那里获得尽可能多营养的基因。胎儿产生的胎盘侵入母体的组织中吸取营养，让胎儿与母亲处在对立的位置上。从母亲的角度上讲，自然选择又偏爱那些有利于母亲生产健康婴儿的基因。如果一位母亲在怀孕期间为胎儿牺牲太多，她以后产下其他健康婴儿的可能性就会降低。因此母亲会产生一些化合物，延缓营养物质流向胎儿。

每当母亲进化出新的策略来限制胎儿汲取营养时，自然选择就会偏向胎儿一方，选择一些突变让胎儿克服那些策略。正如克雷斯皮所言：“这是一场有限的冲突，一场有关胎儿能从母体获得多少营养的拔河比赛。”

克雷斯皮和萨默斯认为，一些有利于细胞构建更好胎盘的基因，可能被肿瘤细胞劫持——从原本正常的静息状态（即处于休眠状态）中重新激活。就像在胎盘中所起的作用一样，这些基因在肿瘤中能够刺激新生血管的形成，让肿瘤侵入正常机体。萨默斯说：“自然而然，这些能力容易被各种肿瘤细胞利用，使那些突变有机会成为肿瘤细胞用来占领人体的工具。”

即使这些静息基因的活化会使肿瘤具有更强的侵袭力，自然选择仍然对它们青睐有加，因为它们能帮助胎儿生长。克雷斯皮说：“一个基因的变异体，可能会使胎儿从母体那里获得更多一点的营养。但是当这个孩子长到 60 岁时，该基因变异体可能会增加他得癌症的几率。不过自然选择仍然会选中这个基因，因为在早期，它的正面作用非常强大。”

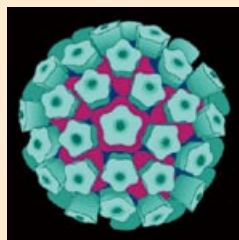
精子是另一种能够快速扩增的细胞。胎盘细胞只能增殖几个月，而产生精子的生精细胞在人的一生中都能保持功能。美国纽约市路德维格癌症研究所的安德鲁·辛普森（Andrew Simpson）说：“在几十年中，

致癌病毒的进化

美国癌症协会估计，在所有癌症病例中，约有 17%（每年超过 180 万例）是由病毒和其他感染性病原体引起的。科学家正在研究致癌病原体的进化，以期找到消灭它们的办法。人乳头瘤病毒（human papillomavirus）就是致癌病原体中的一种。全世界每年诊断出的宫颈癌超过 50 万例，绝大部分都与这种病毒有关。该病毒可以使宿主细胞持续分裂，无法像正常细胞那样停止下来。这些病毒还能阻止宿主细胞修复突变的 DNA。

科学家测出了病毒的 DNA 序列，并且比较了数百种不同类型病毒的基因组，从而重现出这种病毒的部分进化历史。乳头瘤病毒是一个病毒大家族，在大部分脊椎动物身上都能发现它们的踪迹，不过在动物身上，它们只会形成一些疣和良性赘生物。然而，到了大约 20 万年前，现代人（*Homo sapiens*）首次在非洲出现时，我

们的祖先已经携带了若干株只感染人类，而不会感染其他动物的乳头瘤病毒，其中就包括了某些致癌的类型。



■ 经过计算机着色处理之后的人乳头瘤病毒。

大约 10 万年前，现代人走出非洲，扩展到其他大陆，也把病毒带到了世界各地。当某些人类种族与世隔绝时，他们身上的病毒也同样与世隔绝。因此，人乳头瘤病毒的种系谱也就反映了人类的种系谱。举例来说，最古老的病毒种系大多出现在非洲人身上；而土著美洲人来自亚洲，他们携带的病毒也具有亲缘关系。

人类和这种病毒的共同进化关系，具有医学上的意义，因为这些病毒似乎已经适应了宿主。2006 年 8 月，科学家在《美国癌症研究院院刊》上发表报告，公布了不同病毒在不同种族中感染持续时间的关系。如果一名妇女感染的病毒与她的种族有一种古老的渊源，那么她携带这种病毒的时间会比携带其他病毒的时间长久得多。

科学家还对某些良性乳头瘤病毒进化出致癌作用的过程展开了探索。他们的发现如今显得更加重要，因为一些抗癌疫苗已被用于临床。美国食品及药品管理局已经批准了一种疫苗，它能够抵御最危险的人乳头瘤病毒株——H16。但是进化学研究表明，在某些罕见的情况下，人乳头瘤病毒已经将致癌基因交换给了其他病毒。全球 HIV 的流行提高了这种基因交换的风险。当 HIV 削弱人体免疫系统时，更多类型的人乳头瘤病毒就会侵入人体，相互共存。这种混合在理论上可能产生新的致癌病毒株，从而削弱现有抗癌疫苗的效力。

——卡尔·齐默

男性体内一直在产生不计其数的精子。”只在精子这样的特定细胞内发挥作用的那些基因，也是人类基因组中进化最快速的一部分基因。如果一个基因能够使精子的前体细胞（即后来会变成精子的那些细胞）分裂得更快，那么拥有这种基因的精子就会在这名男子的精子群体中更加普遍。这就意味着，该基因更有可能进入受精

卵，从而遗传给下一代。

不幸的是，能够使精子快速繁殖的基因，也能令肿瘤细胞快速增殖。正常情况下，非精子细胞能够阻止这些基因制造蛋白质。用辛普森的话来说：“这是一些需要被牢牢看管的基因，因为它们十分危险。”然而在癌细胞中，基因突变似乎能够释放这些精子基因，使得细胞快速倍增。

过程与原因

肿瘤学家关注癌症的发病过程，进化学家则关心癌症的发病原因。从不同的角度研究癌症，能为攻克这种疾病开拓新的视野。

进化生物学家希望，他们的工作有助于抗击癌症。除了解释为何进化未能消灭肿瘤以外，进化生物学家还能为肿瘤学家带来一些启示，帮助他们更好地面对最令人气馁的挑战——耐药肿瘤的发生。

化疗药物常常对肿瘤细胞失去效力。这个过程与HIV病毒抗药性的进化过程十分相似。突变允许某些肿瘤细胞能够在药物作用环境下存活下来，使得这些细胞比那些脆弱的细胞更具竞争优势。理解HIV和其他病原体（pathogen）的进化过程，已经帮助科学家制定出避免产生耐药性的新策略。现在，科学家正在探索肿瘤细胞的进化过程，以便用来指导制订更好的化疗方案。

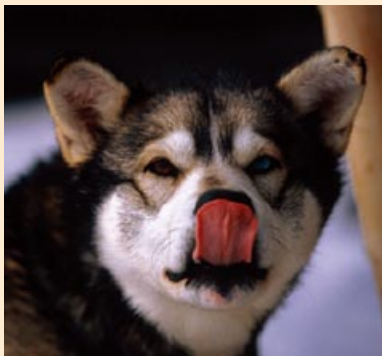
对大多数肿瘤生物学家来说，进化生物学家探索的领域还相当陌生。一些研究人员对此反应热烈。辛普森举了个例子，他相信，破解与精子有关的基因的快速进化过程，可以帮助抗击那些借用这些基因的肿瘤。辛普森说：“这些基因为什么受到自然选择如此器重，准确理解其中的原因至关重要，会让我们对肿瘤有一个更加深入的认识。”

美国霍华德休斯医学研究所（Howard Hughes Medical Institute）的伯特·福格尔斯坦（Bert Vogelstein）也发现，从进化的视角来观察肿瘤是非常有用的。他说：“从进化的角度来研究癌症，正是癌症分子遗传学家的观点。从某种意义上说，肿瘤的发生是进化的副作用。”

犬类肿瘤的惊人历史

被称为施蒂克氏肉瘤（Sticker's sarcoma）的犬类肿瘤，可以通过交配和接触肿瘤而传播。一旦在一个新宿主身上定居，它们就能生成直径十几厘米的瘤块，然后逐渐消失。很多科学家过去认为，这种疾病类似于宫颈癌，是通过病毒播散的。现在他们知道，这种肿瘤通过肿瘤细胞直接在犬类之间传播，而且这种传播已进行了数个世纪。

英国伦敦大学学院和美国芝加哥大学的科学家组成的一个团队，最近分析了从世界各地收集来的犬类施蒂克氏肉瘤样本的基因。他们发现，



■施蒂克氏肉瘤细胞也许在几百年前，就开始在一些哈士奇犬中传播。

这些肿瘤基因之间的遗传关系，比它们与肿瘤“患犬”基因之间的遗传关系更为密切。其他的研究也证实，这些肿瘤细胞来自于同一株癌细胞。

这些科学家在2006年的《细胞》杂志上撰文指出：“这表明，肿瘤细胞可以进化为一种寄生物，成功地扩散到世界各地。”

研究人员目前只发现过几种潜在的寄生肿瘤。例如，塔斯马尼亚袋獾（Tasmanian devils）可以通过相互撕咬传播一种面部肿瘤。为什么没有出现更多的寄生肿瘤呢？器官移植也许提供了一条线索。器官移植的最大风险在于排异，也就是接受器官的患者的免疫系统猛烈地攻击移植器官。所有脊椎动物都以这种严酷的方式来排斥异物组织。这种排异反应可能是数亿年前，作为一种对抗寄生肿瘤的防御机制而进化出来的。

施蒂克氏肉瘤似乎进化出了一种能够绕过这道古老防线的能力。这些肿瘤细胞的细胞膜上只有极少量的表面蛋白，而脊椎动物正是依靠表面蛋白来辨别异己的——这样一来，这种肿瘤细胞便能逃过犬类免疫系统的全力攻击。相反，免疫系统需要数月的时间才能缓慢地清除肿瘤，个别肿瘤细胞也能在肿瘤消失之后继续存活下去。普通的肿瘤会随着宿主的死去而消亡，施蒂克氏肉瘤却成了一种能够存活几个世纪的肿瘤。

——卡尔·齐默

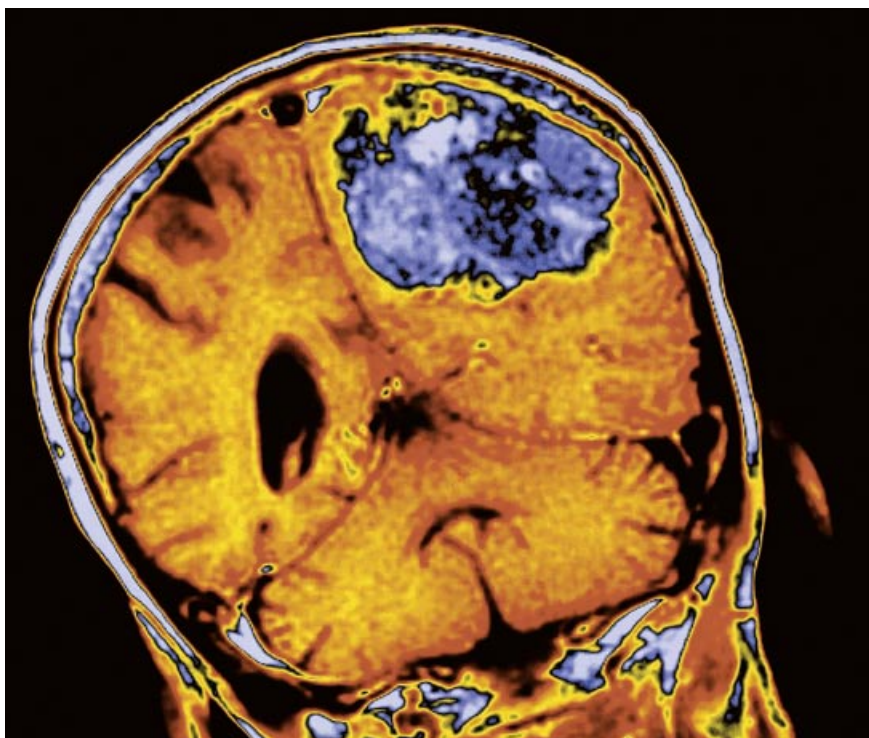
但是福格尔斯坦仍然对快速进化的癌症基因的重要性持保留意见。“人们必须小心谨慎。我想问的第一个问题是，他们确实毫不偏颇地看待整个基因组了吗？”麦金纳尼承认，这样的系统研究还没有开展，但早期结果已经促使他和其他一些科学家着手开展这方面的研究。

还有一些肿瘤学专家对整个研究思路保持怀疑。加拿大巴克老年研究所的克里斯托弗·本兹（Christopher Benz）说，任何从进化学角度所作的研究，只有当它们像其他假设一样经受了实验检验之后，才能被接受。“我是个怀疑论者，”他这样自我评价。

克雷斯皮对这些怀疑论调并不陌生，他认为这些怀疑来自于进化生物学家和肿瘤生物学家提出问题的不同角度。“研究肿瘤的人总是着眼于癌症是怎样发生的，而进化生物学家却在研究癌症为什么会发生”。

也许因为从不同的角度提出了问题，进化生物学家能够为肿瘤生物学家之间的争论做出一些贡献。长期以来，肿瘤生物学家一直为了一个问题争论不休：小鼠是不是人类肿瘤合适的实验模型。一些进化学家认为它们不是，理由是小鼠与人类拥有不同的进化史。啮齿动物和我们人类一样，从大约一亿年前的共同祖先那里继承了一套相同的基因，但是在随后的进化过程中，许多基因在两个种系中各自发生了很多变化。与癌症有关的基因（例如 FAS 基因）在过去的几百万年间，就在人体内经历了高强度的进化演变，这些基因与小鼠体内的同类基因已经截然不同。（科学家已经开始寻找新的人类肿瘤动物实验模型，宠物犬便是其中最有可能的一种，具体内容请参见 2007 年 1 月号《环球科学》上的《宠物狗 攻克癌症的关键》一文。）

对肿瘤进化所作的研究也许会揭示，为什么根除这种疾病会如此困难。



■蓝色标明了大脑中的大块肿瘤。

对于人类肿瘤研究而言，小鼠也许还是一个十分糟糕的实验模型，原因就在于它们的繁殖方式。科学家已经培育出的实验小鼠，比它们的野生表亲繁殖得更快更多。这样的操控也许已经改变了小鼠所要面对的进化抉择，因此它们会在迅速生长和繁殖后代方面投入更多能量。这种人为选择可能有悖于抵御癌症的研究初衷。克雷斯皮说：“调节小鼠的繁殖速度，

已经让我们改变了它们的生活史。”

对肿瘤进化所作的研究也许会揭示，为什么根除这种疾病会如此困难。正如布雷维克所言：“这个问题没有真正的解决办法。癌症是我们人类进化历程的最终产物。我们只是基因为了能够世代相传下去，而制造出来的临时栖息地。想要最终消灭癌症，我们也许不得不改变自身繁衍的方式。” 

扩展阅读

Evolutionary Biology of Cancer. Bernard J. Crespi and Kyle Summers in *Trends in Ecology and Evolution*, Vol. 20, pages 545–552; 2005.

Human Papillomavirus Type 16 and 18 Variants: Race-Related Distribution and Persistence. L. F. Xi, N. B. Kiviat, A. Hildesheim, D. A. Galloway, C. M. Wheeler, J. Ho and Koutsky in *Journal of the National Cancer Institute*, Vol. 15, pages 1045–1052; August 2, 2006.

Clonal Origin and Evolution of a Transmissible Cancer. Claudio Murgia, Jonathan K. Pritchard, Su Yeon Kim, Ariberto Fassati and Robin A. Weiss in *Cell*, Vol. 126, pages 477–487; August 11, 2006.

Ageing: Balancing Regeneration and Cancer. Christian M. Beausejour and Judith Campisi in *Nature*, Vol. 443, pages 404–405; September 28, 2006.

Positive Selection in the Evolution of Cancer. Bernard J. Crespi and Kyle Summers in *Biological Reviews*, Vol. 81, pages 407–424; 2006.

关闭细菌的 生命开关

在生命起源之初，那是 RNA 的世界，它们主宰着生命的一切。经过数十亿年的进化，最初的 RNA 似乎从生物体内消失了。但科学家却在细菌中，发现了古老 RNA 的遗迹，它们像开关一样控制着基因的表达，有条不紊地调控着细菌的新陈代谢，这是不是意味着，关闭 RNA 开关，就能扰乱细菌的新陈代谢，杀死细菌呢？

撰文 罗纳德·R·布雷克 (Ronald R. Breaker)
杰弗里·E·巴里克 (Jeffrey E. Barrick)
翻译 赵瑾

细菌一直在用一种神秘的方式，调控着维生素的合成。2001 年秋天，笼罩在细菌周围的这股神秘气息引起了我们的兴趣。越来越多的证据表明，地球上最早的生命形式起源于 RNA（核糖核酸），那么神秘气息的背后是不是 RNA 在作祟？带着这个问题，我们在美国耶鲁大学的研究小组起程了，要用试验揭开谜底。试验中的发现虽在意料之中，但仍让所有人大吃一惊：我们发现了一种新的细胞自我调控形式，起主要作用的竟是一类最古老的 RNA 分子。

长期以来，RNA 一直被看作是一种低级的信使分子，但它却身兼要职，手握大权，并用完善的机制来维护自己的“威严”。对于古老的 RNA 分子，虽然科学家对它们的运作机理还不甚了解，但它们可能是上天赐给人类的征服疾病的新武器，因为许多致病细菌就是依赖古老的 RNA 分子来调控

基本代谢的。

这种古老的自我调节方式能在现代生物中保留下来，就足以说明它的重要性。细菌细胞具有惊人的适应能力，同时也是一个微型工厂，源源不断地生产自己所需的养料。细菌的最终目的只有一个——无休止地自我复制。然而，只有那些能在不断改变的环境中、在你死我活的资源竞争中保持快速增殖的细菌，才能一代一代延传至今。

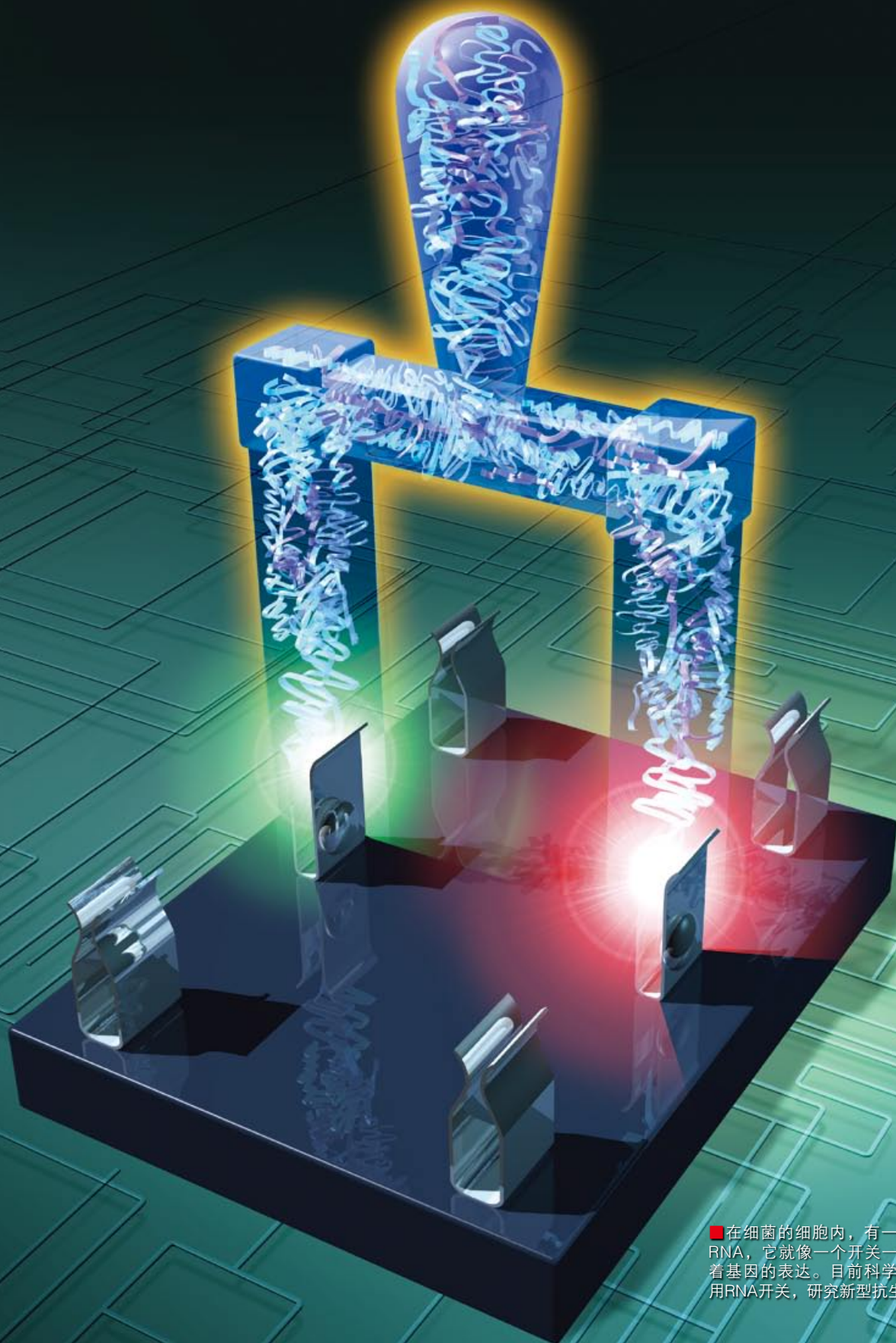
寻找调控蛋白

在细菌中，很多生理活动都是由蛋白质调控的，但是科学家始终没有找到调控维生素合成的蛋白质，难道调控维生素合成的另有他物？

在短短 20 分钟内，细菌能够从基因组的复制开始，制造出大量的精细

分子，完成自我复制。每一种生物在繁殖时，都会忠实地复制基因组，遗传给下一代，因为其中包含着细胞复制的蓝图。这张蓝图由 4 个核苷酸字母写成，每一个核苷酸都含有一种碱基——腺嘌呤、胸腺嘧啶、胞嘧啶或鸟嘌呤。在普通细菌中，多达 90% 的 DNA 都被用于编写指令。构建新细胞时，细菌就可以利用这些指令，组装蛋白机器，组织必需的新陈代谢步骤，加速生化反应的进行。

在细胞工厂中，当 RNA 聚合酶与染色体 DNA 结合，开始将 DNA 转录为具有相似化学构成的信使 RNA（mRNA）时，复制过程就启动了。细菌非常“性急”，一个聚合酶才刚开始对 DNA 信息进行转录，另一个聚合酶就已经紧贴过来，迫不及待地开始合成下一个 mRNA 分子了。大部分 DNA 信息编码的都是某一种蛋白质，但也有一些被称为操纵子（operon）



■在细菌的细胞内，有一种特殊的RNA，它就像一个开关一样，控制着基因的表达。目前科学家正在利用RNA开关，研究新型抗生素。

的 DNA 片段，编码着一组功能相关的蛋白质的信息。RNA 的化学性质不如 DNA 稳定，细菌将 mRNA 转录片段视为复印件，没用的 mRNA 会被迅速降解，回收利用，保证工厂内的蛋白制造机器——核糖体接收到的全是最新的工作指令。

核糖体也是个“急性子”。通常，在聚合酶完成转录之前，核糖体就已经像火车车厢一样一字排开，准备开始读取和执行 mRNA 的指令。它们沿着 mRNA “铁轨”移动，逐一将核苷酸三联密码翻译成特定的氨基酸，并将氨基酸连接到不断延长的多肽链上。当这条多肽链由核糖体生产出来之后，它就会自己折叠，形成复杂的三维结构——一个新的蛋白产生了，可以随时投入工作。

细胞内化合物的顺利合成，尤其依赖两种蛋白：一是负责运输原料的转运蛋白（transporter），而另一种则是酶蛋白。酶蛋白是一种生物催化剂，能在复杂的新陈代谢循环途径中，通过多个连续的反应步骤，加快物质的转换过程。不过细菌也非常谨慎，决不浪费资源制造多余的细胞结构，它们经过进化，已经形成了一套调控机制，能够根据养分的供求变化，制造相应的细胞结构。科学家在研究细菌的这套调控机制时，第一次感受到了管理维生素的那股神秘力量。

通常，细菌会“派遣”多种蛋白持续监测各种原料的当前储量，并据此调节分布在各条“生产线”上的转运蛋白及酶的数量。例如，在大肠杆菌中，有一种叫做乳糖阻遏蛋白（Lac

repressor）的蛋白复合物，它会在乳糖不足的时候，阻碍聚合酶接近与乳糖合成有关的 DNA 序列。当乳糖浓度超过一定浓度时，乳糖阻遏蛋白就会释放这些 DNA，启动相关基因的转录过程。

当染色体 DNA 完成转录，mRNA 释放出来之后，监控蛋白将通过类似的调控机制来决定 mRNA 该何去何从。枯草芽孢杆菌（*Bacillus subtilis*）是一种生活在土壤中的细菌，在它的细胞内，有一种叫作 TRAP 的蛋白质复合物，调控着编码色氨酸合成酶及色氨酸转运蛋白的操纵子。当 TRAP 认为不需要这些蛋白质时，它就会将 mRNA 的前导端紧紧包裹起来，让核糖体无法辨认 mRNA 上的翻译起始位点。这样一来，mRNA 链就会自我折叠，形成发夹状（自我封闭），从而提前终止翻译。

除了拥有能够控制基本蛋白合成的装置之外，细菌还有一个制造特殊化合物的大型“工具箱”。人类必须通过食物来获取维生素，但细菌却懂得如何合成维生素。许多结构复杂的维生素实际上扮演着“辅酶”（coenzyme）的角色。顾名思义，辅酶就是一些辅助酶蛋白的小分子，它们是具有强大功能的专业工具。很多新陈代谢途径都与辅酶的制造过程有关，天性节俭的细菌会严格控制这类成本高昂的合成过程，在不需要辅酶的时候，它们会立即终止合成过程。

细菌是如何调控辅酶的合成过程呢？研究一直在进行。20 世纪 90 年代末，科学家在研究中发现了一种分

子模式，让他们不禁想起了 TRAP 和乳糖阻遏体系。他们开始努力寻找那个负责感知辅酶、控制 mRNA 转录和翻译的监控蛋白，但始终一无所获，于是一个更大的难题出现了：假如细胞不是通过假设中的监控蛋白来衡量养分浓度的话，它们又有什么样的监控机制呢？一个与这道难题风马牛不相及的研究领域——RNA 分子应用，为我们提供了令人意想不到的答案。想要理解其中的奥妙，我们首先得简单回顾一下核糖体的故事。

RNA 世界的遗产

核酶是具有催化能力的 RNA，它是古老 RNA 世界遗留下来的。虽然经过了数十亿年的进化，但在今天的细菌中，我们仍能找到核酶，这是否意味着核酶具有超乎寻常的功能呢？

我们或许可以把蛋白质看作滑轮、齿轮、管道以及传送带，正是它们把原料转运到细胞内部。然而在细胞工厂中，并非所有的重要部件都由蛋白质组成。最值得一提的是，核糖体有一个 RNA 核，它的成分与 mRNA 完全相同。但与 mRNA 不同的是，虽然核糖体 RNA（ribosomal RNA，rRNA）一开始也是 DNA 的转录片段，但它没有携带制造蛋白质的任何信息。相反，rRNA 会立即将自己折叠成特定的形状，包裹在其中的核苷酸碱基相互结合，形成一个类似终止子（terminator）的发夹结构。

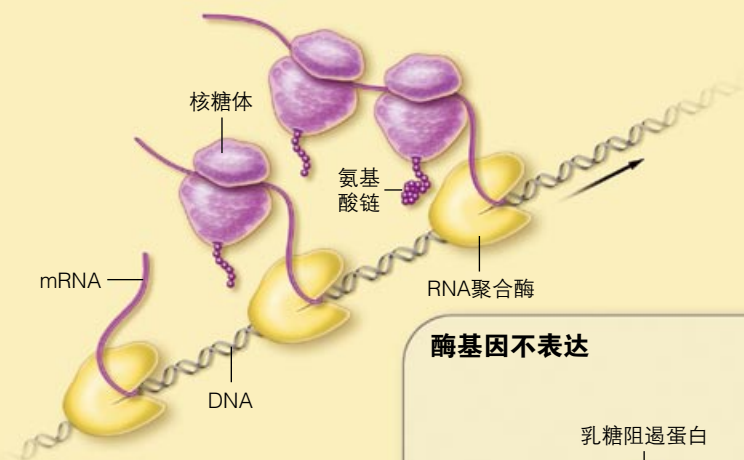
核糖体 RNA 的折叠程度很高，部分序列经过轻微的化学修饰后，会变得更加牢固。蛋白“订书钉”和蛋白“支架”会加固 RNA 内部的缝隙，有些蛋白质还会包裹在 RNA 的表面。但是在原子水平上所作的结构分析显

概述 / 关闭古老的 RNA 开关

- ◆通常，细胞中的基因活性是由监控蛋白来调控的，但某些细菌却是利用 mRNA 来监控一些重要细胞基础结构的制造过程。
- ◆现在，我们已经知道某些 RNA 具有类似蛋白质的能力，能够连接或剪切其他分子，为原始世界由 RNA 主宰这一假说提供了证据。
- ◆新发现的核糖开关是一类 RNA 分子，它们携带转录自 DNA 的信息，同时它们也能决定是否执行 DNA 所编码的指令。
- ◆在微生物中，核糖开关控制着许多基础生理过程，从而成为新型抗生素的潜在作用靶标。

细胞工厂的监控蛋白

要生存和繁殖，细胞必须制造一系列分子零件。为了协调和优化这个生产流程，它们通常会利用某些蛋白质来监控生产过程。只有在监控蛋白检测到细菌需要某种装置，而且制造原料也很充足时，它们才会允许细菌制造这种装置。正是对于这些机制的了解，我们才发现了核糖开关的存在。



工厂车间

根据 DNA 上的遗传信息，细胞内的装配线快速运转，生产出各种细胞零件。RNA 聚合酶沿着 DNA 链移动，将基因转录为信使 RNA (mRNA)。mRNA 一出现，核糖体就立即与之结合，开始将它的信息翻译成氨基酸链，随后，氨基酸链又会折叠成具有特定功能的蛋白质。

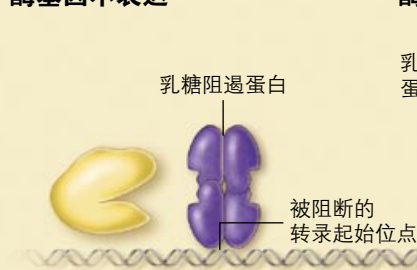
库存管理

监控蛋白（例如乳糖阻遏蛋白及 TRAP 蛋白复合物）通过各种机制，对细菌中的基本组分的生产进行调控。

在没有乳糖的情况下，乳糖阻遏蛋白能够通过阻止聚合酶接近 DNA 链，来抑制乳糖酶基因的表达。在含量较高的情况下，乳糖的一个降解产物能结合在乳糖阻遏蛋白的裂口上，然后使阻遏蛋白释放 DNA，启动基因表达。

TRAP 能够通过两种方式，影响与色氨酸合成及转运有关的基因的 mRNA，从而进行调控。当色氨酸存在时，TRAP 会将与色氨酸合成有关的 mRNA（紫色）的引导端缠绕在自身周围，导致部分信息链呈发夹状，提前终止转录。TRAP 还能将色氨酸转运蛋白的 mRNA 引导序列隔离，阻止核糖体接近翻译起始位点。

酶基因不表达



酶基因开始表达



合成基因“关闭”



转运蛋白基因“关闭”



示，负责催化氨基酸之间新化学键形成的核糖体核心，完全是由 RNA 构成的。

具有蛋白质催化能力的 RNA 结构确实存在，这让每一个熟悉“RNA 世界”理论的人都激动不已。“RNA 世界”是美国特拉华大学的哈罗德·怀特三世 (Harold White III) 在 20 世纪 70 年代末提出的一个有关早期生命形式的理论。怀特观察到，在许多辅酶的化学结构中都含有 RNA 组分。例如，腺苷钴胺 (adenosylcobalamin) 就含

有一个完整的 RNA 核苷酸，而焦磷酸硫胺素 (thiamine pyrophosphate) 则含有一段糖-磷酸骨架。这些核苷酸片段似乎是在为其他蛋白质提供附着位点。怀特推测，这些奇特的结构可能是从远古时代遗留下来的，那时的原生细胞 (protocell) 还相当低级，没有进化出现代的 DNA 储存系统或蛋白合成系统。当时的 RNA 有着双重职能：既是储存信息的分子，又是生物聚合物 (biopolymer)，能折叠成代谢机器，执行现在通常由蛋白质担

任的繁杂工作。

到了 20 世纪 80 年代初，人们已经在现代生物中发现了两个具有催化能力的古老 RNA 分子。其中一个核糖核酸酶 P (RNase P)，它是细菌中的一种 RNA 分子，能够剪切初始 RNA 转录片段；另一个则是一类奇妙的 RNA 序列，它能够通过一系列化学键的交换，对自身（原本较长的 mRNA 转录片段）进行剪接。凭借以上两个发现，美国耶鲁大学的悉尼·阿尔特曼 (Sidney Altman)

和科罗拉多大学博尔德分校的托马斯·切赫(Thomas R. Cech)获得了1989年的诺贝尔化学奖。他们的发现证明,先前被视为只能被动接受信息的RNA分子,能够折叠成复杂的三维结构,并像酶一样,加快化学反应的速率。科学家给这些RNA酶起了一个统一的名称——核酶(ribozyme)。

怀特推断,假如核酶是从“RNA世界”遗留下来的,或许是因为它们的功能异常重要,经过进化产生的新蛋白无法取代它们的功能。20世纪90年代初,在细胞外操纵生物分子的研究手段日趋成熟。研究人员创造性地利用了RNA的特殊能力——RNA能够自我折叠成复杂的具有特殊功能的形状,进行了多项实验。科学家希望通过测试RNA的多能性,来证实“RNA世界”假说;同时,他们也在寻找核酶在生物技术领域的新用途。正是我们的研究小组在这方面所做的研究,引导我们找到了除蛋白质以外,在细菌中调节辅酶制造过程的那股神秘力量。

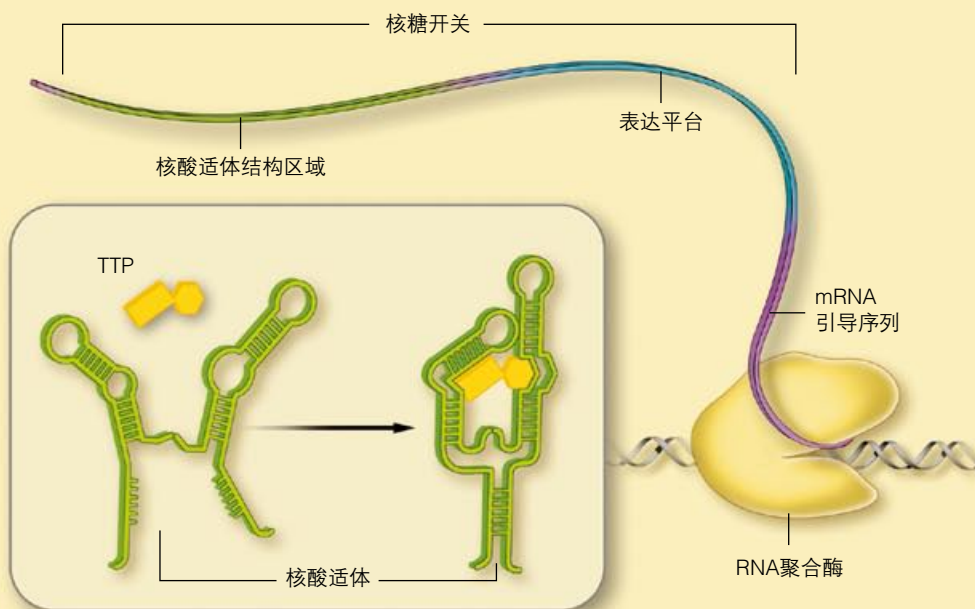
天然传感器

在细菌中,有一类特殊的RNA分子,它们就像天然传感器一样,能感知某些营养元素的存在。如果发现了某种营养元素,它们就会与之结合,重新组织自己的结构,关闭基因表达,不再合成能制造这些营养元素的蛋白质。这类RNA分子就像一个开关,能够控制基因的表达,于是科学家把它命名为“核糖开关”。

美国马萨诸塞综合医院的杰克·W·绍斯塔克(Jack W. Szostak)与另外两位科学家一起,联合开发了一种叫做“试管进化”(test-tube

自主决定命运的开关

新发现的细胞调控方式依赖于某些RNA,它们能监控自身基因的表达。核糖开关是mRNA的引导序列中的某些片段,它们能衡量细胞对该mRNA所编码的蛋白的需求程度,然后对自身结构进行相应调整,从而控制蛋白质的合成。因而,核糖开关具有两个重要的结构:感知代谢产物的核酸适体(见图下方)以及通过改变自身结构来影响mRNA命运的表达平台。



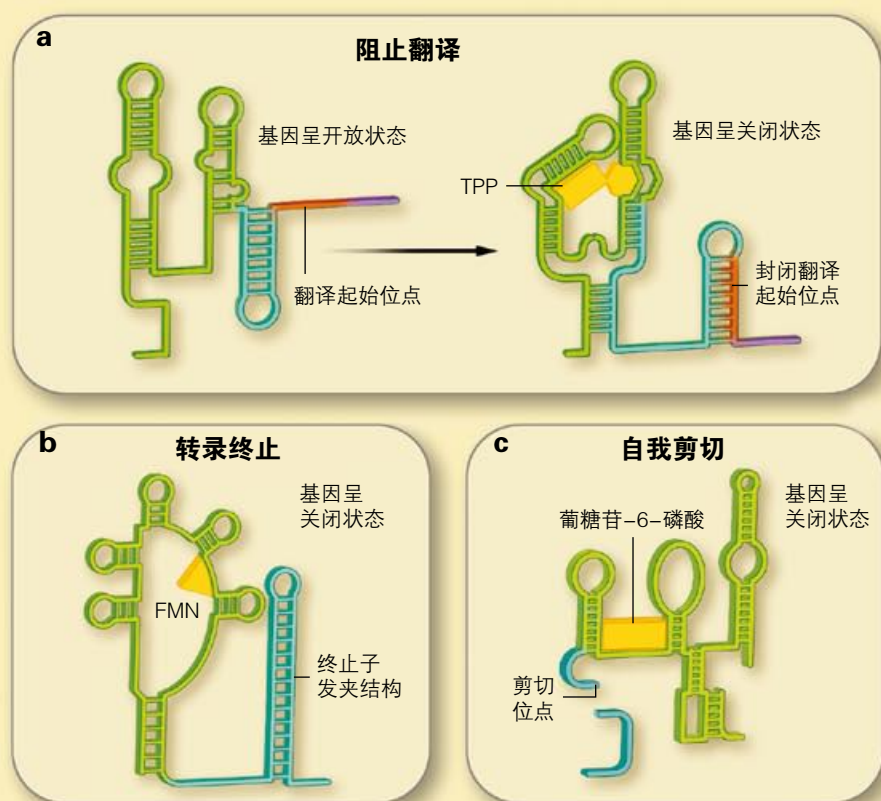
感测代谢产物

与RNA聚合酶分开的时候,焦磷酸硫胺素(thiamine pyrophosphate, TPP,也是一种辅酶)的核酸适体具有特定的形状。当有TTP存在时,核酸适体会与之结合,并改变结构以牢牢地抓住TPP分子(见上图)。

evolution)的技术。这种方法可以对数以万亿计的合成RNA序列进行达尔文测试(Darwinian test),只有“最适应的分子”可以通过这个测试。利用试管进化技术,绍斯塔克的研究小组很快就发现了各种能与三磷酸腺苷(ATP)、有机染料、氨基酸及抗生素紧密结合的短小RNA结构。

绍斯塔克将这些RNA称为核酸适体(aptamer)。这个词源于拉丁文aptus,意为匹配合适。尽管它们是人工合成的,但是除了与目标分子紧密结合以外,许多核酸适体还具有一个更重要的生物学特性:它们能够排斥与自己结构相近的分子。

我们实验室决定利用这种高度选择性,设计一个由RNA构成的传感器。我们的计划是合成一个可识别目标分子的核酸适体。它可以先与目标分子结合,再与第二个RNA片段结合,而后者能发出直观的信号,显示核酸适体已经结合了目标分子。我们选择了锤头状核酶(hammerhead ribozyme)作为第二个RNA片段,这种核酶以独特的结构而得名,它是自然界最简单、最有效的自剪切核酶之一。我们可以将一个荧光标记结合在锤头状核酶的一端,一个猝光基团(quencher group,能够削弱周围的荧光)结合在RNA折叠结构内。一旦



核糖开关反应

核糖开关采取各种策略监控蛋白质的合成。在没有 TPP 的情况下，表达平台所呈现的形态让核糖体能够接近翻译起始位点，从而基因上的信息得以表达 (a)。当 TPP 与核酸适体结合时，表达平台呈发夹状，将翻译起始位点隔离起来，从而终止基因表达 (b)。感测黄素单核苷酸 (flavin mononucleotide, FMN, 一种辅酶) 的核糖开关形成终止子发夹结构，迫使转录停止 (c)。由葡萄糖-6-磷酸 (glucosamine-6-phosphate, GlcN6P) 激活的一种核酶则与众不同，它具有自我剪切活性。

核酸适体找到目标分子，并与它结合，就会引发连锁反应：锤头状核酶发生自我剪切，猝光基团与荧光标记分离，荧光标记发出荧光。这个过程就像是“将灯罩从灯泡上移开”一样。

事实证明，RNA 确实非常擅长发挥传感器功能。后来，我们开发出核酸适体偶联核酶 (aptamer-coupled ribozyme)，能够检测并报告多种分子的存在。我们还可以将不同的传感器置于同一块微芯片上，就算多种化学物质混杂在一起，也可以同时准确检测出它们的存在。

如此轻松就合成出了能够检测小分子的 RNA，而且它们还能有目的

地重组自己的结构，诱导小分子与自己结合，这让我们不禁想到，在自然进化的过程中是否也曾出现过类似的 RNA 呢？显然，RNA 世界遗留下来的核酶仍然在现代生物中执行着重要的任务，那么在现代生物的基因组中，是否还隐藏着尚未被发现的序列，编码着重要的 RNA 机器呢？

我们开始仔细查阅历年的科学文献，希望找到天然核酸适体的线索，

却只发现了零星的吊人胃口的记录，其中提到一些没有携带遗传信息的 RNA 序列，似乎在细胞内起着重要的调控作用。随后的研究工作让我们越来越接近那股神秘的调控力量。我们找到了有关 BtuB 蛋白的记载，这种蛋白是大肠杆菌的一种细胞器的组成部分，作用是将辅酶 B₁₂ 从外界运送到细胞内。编码 BtuB 的 mRNA 起始于一段由 240 个核苷酸组成的引导序列。通常，细菌的引导序列都比较短，如此长的引导序列是不是意味着非同寻常的功能呢？这成了我们的一个研究线索。另一个研究小组也发现，当细胞中 B₁₂ 的浓度很高的时候，BtuB 蛋白的合成就会受到抑制。然而到目前为止，科学家还没有发现能够感应 B₁₂ 的蛋白探测器 (protein sentry)。

我们从其他科学家以前发表的研究结果得知，B₁₂ 的存在，会在某种程度上阻止核糖体与编码 BtuB 的 mRNA 结合。一项研究也暗示，mRNA 引导序列的结构，会在 B₁₂ 出现时发生改变。BtuB 的 mRNA 的引导序列如此之长，是不是包含着能与 B₁₂ 结合的天然核酸适体呢？它们是不是在调控自身基因的表达呢？

我们利用一种叫做串联标记 (in-line probing) 的技术，来监测在 B₁₂ 存在的情况下，BtuB 的 mRNA 的各个部分是否会发生变化——结构是变得更加规整，还是更加松散。最引人注意的是，在靠近 BtuB 的 mRNA 编码区域的起始端，出现了一个新的结构。也许就是这个结构阻止了核糖体与 mRNA 的结合。RNA 似乎能够感知 B₁₂，还能阻止核糖体翻译自己，

本文作者

在美国耶鲁大学，罗纳德·R·布雷克曾与杰弗里·E·巴里克一起在自己的实验室里，研究核糖开关的多样性和重要性。巴里克目前在美国密歇根州立大学做博士后研究，研究细菌的进化和能够自我复制的计算机程序。布雷克的研究小组仍在继续研究核酸的本质和用途，比如用 RNA 设计一个控制基因表达的元件，以及针对天然核糖开关开发新的抗生素等。

从而调节 B₁₂ 的转运, 就像 TRAP 调节枯草芽孢杆菌中的色氨酸转运蛋白一样。这个 RNA 分子就像一个开关, 能够控制基因的表达, 于是我们把它命名为“核糖开关”(riboswitch)。

在研究 BtuB 的引导序列的同时, 另一个尚未得到解释的调控过程也引起了我们的注意。以前的研究明确地指出, 在各类细菌中, 编码辅酶 B₁ 的合成酶及转运蛋白的 mRNA 都包含一段相同的 RNA 序列, 而且在累积了大量辅酶 B₁ 的细胞中, 这段序列发生了突变, 使合成酶、转运蛋白的基因所受到的正常抑制失效。在大肠杆菌中, 一种操纵子的 mRNA 编码了两种生物合成酶 (biosynthetic enzyme), 在该 mRNA 的引导序列中, 有一段序列与核糖体的结合位点靠得很近。我们证实, B₁ 能诱导该 mRNA 的结构

发生变化, 紧紧封锁了与核糖体的结合位点。后来, 我们又发现, 在这个引导序列中, 一个含有 91 个核苷酸的短小序列能与 B₁ 结合。与我们制作的人工传感器一样, 这个核糖开关含有一个独立的天然核酸适体, 与 RNA 序列中的编码序列相连, 进而调控 B₁ 的合成。

因此, 我们至少发现了两种具有明显调控功能的 mRNA, 它们可以自行决定是否翻译自身编码的蛋白质, 而不需要监控蛋白的介入。mRNA 不是只会从 DNA 那里被动接受信息的复制品, 它们可以将自己折叠成特定的形状, 主动选择自身的命运。这两种 RNA 并非生物学上的奇异现象, 那些蛰伏在科学文献中、与多种基础细胞代谢有关的天然 RNA 开关, 很快便走进了科学家的视野。

与枯草芽孢杆菌有亲缘关系的细菌中, 都含有一段相同的 RNA 序列, 我们后来才知道这是一种核糖开关, 它能识别腺苷甲硫氨酸 (S-adenosylmethionine, 缩写为 SAM)。控制着辅酶 B₂ 的合成与转运的一段已知 RNA 片段则是另一个核糖开关。在大肠杆菌中, 有一段 mRNA 序列曾被认为编码了一种蛋白质, 用以监控赖氨酸的合成, 但实际上, 这也是一个复杂的赖氨酸核酸适体的一部分, 该核酸适体也在很多细菌中调控着氨基酸的合成。由此可见, 核糖开关是一种普遍存在的调控基因表达的形式。

关闭核糖开关

如果能找到某种药物, 使细菌产生“幻觉”, 误以为已经有足够的营养物质, 从而关闭细菌的基因表达, 让它无法获得重要的营养成分, 也许就能让细菌因营养不良而死亡。

到目前为止, 通过核酸适体结构, 我们已经发现了十多种核糖开关。尽管它们在某些特征和机理上有所不同, 但已表现出一些普遍性。核糖开关是一种 mRNA, 能调控自身基因的表达——要么将自己携带的信息翻译成蛋白质, 要么在核糖体进行翻译之前, 选择“自杀”。之所以能做到这一点, 是因为核糖开关拥有感测目标代谢产物的能力, 可以监控细胞对自己编码的蛋白质的需求, 然后相应地改变自己的结构。因而, 核糖开关具有两大重要部分: 感测代谢产物的核酸适体和“表达平台”序列 (负责编码蛋白质的工作)。

核酸适体是特定小分子代谢产物的复合受体, 即使在亲缘关系相距甚远的生物中, 同一类核酸适体的核心

诱人的标靶

许多细菌, 包括下列危害人类健康的病原菌, 都利用核糖开关来控制它们自身的基因活性。那些触发核糖开关的物质就可能被作为新型抗生素来使用, 如果某种物质能破坏与细菌生存及致病力相关的重要基因的功能, 那就更值得研究。下表中列举的是在每种生物中所发现的核糖开关种类数量, 以及已知的由核糖开关调控的基因数量。星号代表至少有一种重要的基因受到核糖开关的调控。

人类致病菌	核糖开关的种类	调节的基因数量
鲍氏不动杆菌 (<i>Acinetobacter baumannii</i>)	4	6
炭疽芽孢杆菌 (<i>Bacillus anthracis</i>)	9	82
羊种布鲁氏菌 (<i>Brucella melitensis</i>)	5	21*
粪肠球菌 (<i>Enterococcus faecalis</i>)	7	17
大肠杆菌 (<i>Escherichia coli</i>)	4	15*
土拉热弗朗西斯氏菌 (<i>Francisella tularensis</i>)	4	8
流行性感冒嗜血杆菌 (<i>Hemophilus influenzae</i>)	5	15*
幽门螺杆菌 (<i>Helicobacter pylori</i>)	1	2
单核细胞增多性李斯特氏菌 (<i>Listeria monocytogenes</i>)	9	49
结核分枝杆菌 (<i>Mycobacterium tuberculosis</i>)	3	13
铜绿假单胞菌 (<i>Pseudomonas aeruginosa</i>)	3	27
肠沙门氏菌 (<i>Salmonella enterica</i>)	3	34*
金黄色葡萄球菌 (<i>Staphylococcus aureus</i>)	8	30*
肺炎链球菌 (<i>Streptococcus pneumoniae</i>)	5	19
霍乱弧菌 (<i>Vibrio cholerae</i>)	5	13
鼠疫耶尔森菌 (<i>Yersinia pestis</i>)	3	11

结构都是相同的。核糖开关的表达平台(包括一部分核酸适体结构)包含的一些序列,能够通过重组自身结构来影响基因表达。我们最初发现的 B_{12} 和 B_1 核糖开关所拥有的表达平台,都能通过改变自己的构型,隐藏能被核糖体识别的序列,从而阻碍翻译的起始。其他含有相同核酸适体的核糖开关的表达平台,则能使mRNA形成终止子发夹结构,提早终止mRNA转录。

随着我们对核糖开关的了解越来越深,我们不禁感叹,进化机制实在太精密了!例如,在细胞中,识别代谢产物必须要在几秒钟内完成,因为RNA聚合酶合成出一段mRNA引导序列,然后核糖体与之结合并开始翻译所用的时间,就只有这短短的几秒钟。因此,核糖开关能否感测到目的分子的决定性因素,在于它与代谢物结合的速度,而不是强度。在核酸适体和表达平台之间,有一段调速序列,能使RNA聚合酶暂时停止工作。有时,由此产生的时间延迟非常重要,因为这样就能为核酸适体留下充足的时间,去捕捉代谢产物,从而适当地重组表达平台。

当我们开始在细菌的基因组中搜索新的核糖开关时,更多的惊喜冒了出来。仅在枯草芽孢杆菌的基因组中,我们就发现了8个具有核糖开关特征的新序列。其中一个具有两个核酸适体,它的功能似乎是启动基因表达,而不是关闭表达。还有一个不仅是核糖开关,而且还是一种可以由代谢产物激活的核酶。这种核酶的表达平台不会发生结构上的重组,而是进行自我剪切,也就是说,它能够在自己携带的信息被翻译之前,进行自我毁灭。

在目前所发现的核糖开关中,只有一类存在于多细胞生物(真核生物)中,其余的只存在于细菌中。真

核生物的基因调控机制比细菌复杂,而且从DNA序列到蛋白质合成的途径也更加迂回。在真核生物中,最初的基因转录产物并不是可以直接翻译成蛋白质的短小mRNA序列,而是含有大量非编码序列(内含子)的原始mRNA。它必须经过剪切,去除内含子之后,才能被翻译成蛋白质。就在这个剪切阶段,我们发现了一个核糖开关。

在许多真菌和植物(包括水稻)中,辅酶 B_1 的核酸适体出现在合成硫胺(thiamine)的操纵子的内含子序列中。当核糖开关与 B_1 结合时,它们似乎能够导致内含子周围的RNA结构发生重组,从而阻止剪切的进行。虽然我们对这个过程的详细情况还不甚了解,但是它也许能封闭mRNA上的全部信息,或者阻止mRNA被转移到细胞中适合的部位进行翻译。

有趣的是,有一种已知的抗真菌药物能够与 B_1 核糖开关结合。有证据显示,这种药物能够让真菌产生“幻觉”,误以为已经有足够的 B_1 ,从而阻止真菌合成更多的 B_1 。因为真菌实际上并没有获得这种重要的营养成分,它的生长就会放缓,最终可能因 B_1 的缺乏而死亡。正如这个例子所示,在很多微生物中,核糖开关起着非常关键的作用——调控重要养分的供应,因此它有望成为抗生素的新的作用靶标。

现在我们已经知道,核糖开关是

很多致病细菌的“命门”,它调控着多种重要代谢产物的产生。许多研究人员都在寻找可以“欺骗”这些细菌的分子,让核糖开关的核酸适体将“欺骗分子”当作天然代谢产物,从而诱发对细菌有害的基因调控反应。

一些研究小组也在尝试用人工核糖开关来控制活细胞的基因表达(例如在基因疗法中的应用)。他们想设计一种开关,能用类似药物的无害分子来启动,然后将这个开关整合到治疗性基因(therapeutic gene)中。医生把带有人工开关的基因注入病人的细胞中,让病人服用含有“触发分子”的药物,开启这个开关。就像核糖开关在抗生素领域的应用一样,这种应用也处于研究的初级阶段。

当年发现核酶后,科学家给这些古老的分子赋予了现代的用途,这让很多人感到惊喜和振奋。现在,核糖开关的出现,让人们再度惊喜和兴奋起来。我们今天似乎只保留了远古RNA世界遗留下来的少量片段,但這些具有复杂机制和调控作用的RNA装置却仍然顽强地存在于现代生物体内。我们不禁想知道,这些核糖开关是不是RNA世界留下来的最后一丝遗迹,或者说在现代细胞(甚至人类的细胞)中,是不是还有更多的原始分子在细胞的代谢及管理过程中起着作用。也许,它们正在默默等待着我们去发现。



扩展阅读

The Origin of Life on the Earth. Leslie E. Orgel in Scientific American, Vol. 271, No. 4, pages 76–83; October 1994.

Thiamine Derivatives Bind Messenger RNAs Directly to Regulate Bacterial Gene Expression. Wade Winkler, Ali Nahvi and Ronald R. Breaker in Nature, Vol. 419, pages 952–956; October 31, 2002.

Metabolite-Binding RNA Domains Are Present in the Genes of Eukaryotes. Narasimhan Sudarsan, Jeffrey E. Barrick and Ronald R. Breaker in RNA, Vol. 9, No. 6, pages 644–647; June 2003.

Riboswitches as Antibacterial Drug Targets. Kenneth F. Blount and Ronald R. Breaker in Nature Biotechnology (in press).



阿司匹林是人们再熟悉不过的镇痛药物，却有致命的副作用：引发心脏病和中风！类似的药物还有伟克适、希乐葆等。为了保护人类的健康，让人类彻底摆脱疼痛的折磨，科学家从前列腺素着手，弥补镇痛药的“安全漏洞”！

镇痛药的安全漏洞

撰文 加里·斯蒂克斯 (Gary Stix)
翻译 褚波

由于阐明了人体产生前列腺素 (prostaglandin) 的生理机制，本特·萨穆埃尔松 (Bengt Samuelsson) 于 1982 年获得了诺贝尔生理学或医学奖。在人体内，前列腺素是一类重要的激素，调节着多种生理过程，比如引发疼痛、发烧、发炎，不过这些过程可以用阿司匹林、布洛芬等药物来抑制。与萨穆埃尔松合作研究、共享 1982 年诺贝尔奖的，还有另一位科学家——苏内·贝里斯特伦 (Sune Bergström)，两人的研究工作都是在瑞典卡罗林斯卡医学院的红墙校园内开展，每年诺贝尔生理学或医学奖的颁奖典礼，也都会在这里隆重举行。

在卡罗林斯卡医学院，关于前列腺素的故事可以从 1930 年发现脂肪酸开始，一直讲到今天。最近几年，萨穆埃尔松与合作者一起，进一步弄清了前列腺素的生物化学性质。这是一项基础性研究工作，利用前列腺素的生物化学性质，就可以开发出比现有药物（如逐渐被弃用的 COX-2 酶抑制剂，具体内容参见《环球科学》2006 年第 7 期《告别疼痛》一文）更安全的镇痛、消炎药物。萨穆埃尔松说：“消炎药物的需求量很大，开发出效果不比以前的药物逊色、副作用却更少的新型药物非常重要。”

发现新目标

1982 年，卡罗林斯卡医学院为萨穆埃尔松获得诺贝尔奖专门发布了新闻稿，高度评价了他的研究工作，因为他把前列腺素的方



面面都诠释得尽善尽美。萨穆埃尔松在试验中发现，只要细胞膜上的花生四烯酸（arachidonic acid）与酶在不经意间相遇，就会发生一系列生化反应。最终产物就是各种类型的前列腺素，它们能调节人体内多种生理功能，比如促进肾脏的血液循环；在妇女经历分娩和月经时，控制子宫肌肉的收缩；在人体受伤或被感染后，引发炎症反应（特征是伤口周围又红又肿），保护机体免遭损害。

阿司匹林和其他一些非甾体类消炎药物（如布洛芬），会在前列腺素合成途径中的前几个步骤，抑制1型和2型环加氧酶（COX-1和COX-2）的活性，达到镇痛消炎的目的。但是一旦抑制了环加氧酶的活性，就等于切断了所有类型前列腺素的合成途径，机体便无法合成任何前列腺素。

正是由于上述原因，阿司匹林以及类似药物会导致很多问题。阿司匹林既抑制了引发炎症反应的前列腺素的产生，也会削减其他类型前列腺素的产量，比如帮助胃粘膜对抗消化液中的盐酸的前列腺素。为了解决这一难题，20世纪90年代，一些制药公司提出了一项补救方案，他们开发出

伟克适（Vioxx）、希乐葆（Celebrex）等药品，专门抑制COX-2的活性，而对COX-1没什么影响，这样就不会干扰胃保护性前列腺素的产生。

但科学家很快就发现，抑制COX-2的活性也不是一个十全十美的解决方案。COX-2的活性受到影响后，前列腺素之间的一系列复杂反应都会受到明显干扰。虽然抑制COX-2的活性能削减前列腺素E₂（PGE₂）的生成量，缓解疼痛、防止发炎，但也会抑制环前列腺素（prostacyclin, PGI₂）的合成，而PGI₂却是一类有益于心脏健康的前列腺素，它能促进血管扩张，阻止血小板凝聚。所以，让病人服用COX-2抑制剂来缓解疼痛，无异于饮鸩止渴。

1999年，美国宾夕法尼亚大学医学中心的加勒特·A·菲茨杰拉德（Garrett A. FitzGerald）在《美国国家科学院院刊》上发表了一篇文章，报道了一项小型临床试验的结果。在试验中，他抑制了PGI₂的合成。菲茨杰拉德发现，病人服用COX-2抑制剂（血栓烷）后，虽然PGI₂的生成量会减少，但与此同时，在花生四烯酸途径中合成的另一种前列腺素仍在发挥



作用，而且它的作用是与PGI₂相互克制的，也就是说，它会促进血管收缩和血小板凝聚。PGI₂的含量下降以后，血液中的平衡就被打乱了，血液很容易凝结，形成血栓，继而导致心脏病和中风。近年来，因为COX-2酶抑制剂引起的医疗事故，律师为起诉人状告制药公司的案例屡见不鲜。菲茨杰拉德初次报道自己的研究发现，是在1997年一场学术会议上，也就是第一种COX-2抑制剂——希乐葆获准上市的前一年。

菲茨杰拉德的研究小组最先把暗藏在COX-2抑制剂中的危险公之于众，不过，萨穆埃尔松的研究小组不甘落后，也有了新发现。佩尔永汉·雅

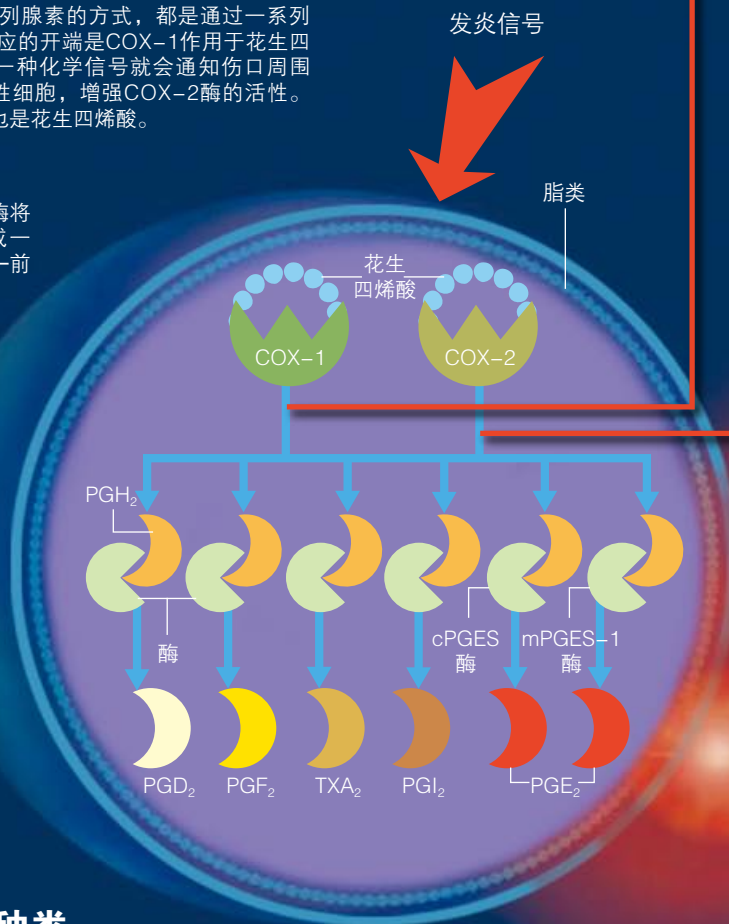
改进阿司匹林和伟克适

发炎、发烧的一个原因，就是与发炎相关的人体细胞产生了大量的前列腺素 E_2 （图中1~3步）。阿司匹林、伟克适以及其他一些镇痛药物的作用机制，都是抑制催化前列腺素合成的酶的活性。但是，有些酶合成的前列腺素和代谢产物对身体健康是有益的，减少它们的生成量会带来副作用。在这种情况下，药品研发人员开始研究新型药物，比如mPGES-1抑制剂，它只是抑制PGE $_2$ 的过量生成，而对其他一些有益物质则没有什么影响。

1 大部分细胞制造前列腺素的方式，都是通过一系列反应来实现的，反应的开端是COX-1作用于花生四烯酸。当组织受伤，一种化学信号就会通知伤口周围的巨噬细胞和其他炎性细胞，增强COX-2酶的活性。COX-2酶的作用对象也是花生四烯酸。

2 COX-1和COX-2酶将花生四烯酸转变成一种过渡性化学物质——前列腺素 G_2 (PGH $_2$)。

3 接着，其他的酶把PGH $_2$ 转换成其他前列腺素和血栓烷，每一种物质都具有不同的生理功能。最后，所有前列腺素，包括导致疼痛的PGE $_2$ ，都会被释放出来，作用于其他细胞。



阿司匹林的作用机制

阿司匹林和其他非甾体类消炎药会同时抑制COX-1和COX-2酶的活性，这样一来，所有前列腺素的生成都会被抑制，包括那些有益于健康的前列腺素。

COX-2酶抑制剂的作用机制

COX-2酶会通过一个反应途径提升PGE $_2$ 的生成量，一种叫做mPGES-1的酶也参与了这个反应途径。伟克适，希乐葆，伐地昔布（Bextra）等COX-2酶的抑制剂则会终止PGE $_2$ 生成量的上升。这几种药物一般不会对胃造成伤害，大概是因为在COX-1酶和cPGES酶的作用下，PGE $_2$ 的生成量仍然保持正常。不过，COX-2酶抑制剂会削减PGI $_2$ 的生成量，而PGI $_2$ 却对血管系统有保护作用。服用COX-2酶抑制剂的病人很容易患心脏病和中风，可能就是PGI $_2$ 的生成量被削减的缘故。

mPGES-1酶抑制剂的作用机制

mPGES-1酶的抑制剂尚处于研发阶段，它们能专一性地抑制mPGES-1酶的活性。机体受伤、发炎后，COX-2酶就会催促细胞产生大量的mPGES-1酶。抑制mPGES-1酶的活性，而不是那些维持前列腺素正常水平的酶的活性，就能做到两全其美：既控制了PGE $_2$ 的生成，缓解了疼痛，又不会对心脏和胃肠道系统造成伤害。

前列腺素的种类及其生理功能

前列腺素D $_2$ (PGD $_2$)
参与睡眠调节和过敏反应

前列腺素F $_2$ (PGF $_2$)
在妇女经历分娩和月经时，调控子宫平滑肌的收缩。

血栓烷A $_2$ (TXA $_2$)
刺激血管收缩，诱导血小板凝结。

环前列腺素 (PGI $_2$)
扩张血管，抑制血小板凝结，防止动脉硬化和胃粘膜受损。

前列腺素E $_2$ (PGE $_2$)
与疼痛、发炎、发烧有关，有利于胃健康。

各布森 (Per-johan jakobsson) 是萨穆埃尔松实验室的一位博士后研究人员, 他领导的实验项目在人体中发现了一种可以生产 PGE_2 的酶。1999 年, 雅各布森、萨穆埃尔松以及两位合作者共同发表了一篇文章, 他们在文章的摘要中说道: “这种酶很可能是一个新的药物靶标。”

萨穆埃尔松实验室的研究成果引起了一家小型制药公司的注意。这家公司名叫 Biolipox, 由卡罗林斯卡医学院的两位科学家创办。2000 年, 该公司涉足呼吸道疾病消炎药物的开发领域, 研制出了 eoxin。这种生化物质也是在花生四烯酸途径中合成的。2001 年, Biolipox 公司决定扩充药品种类, 实现产品多样化, 于是它从卡罗林斯卡获得了雅各布森发现的酶 (微粒体前列腺素 E 合成酶, 英文缩写为 mPGES-1) 的知识产权。能选择性地抑制 mPGES-1 的活性的药物, 也许就能镇痛消炎, 而不会引发胃肠道或心血管疾病, 因为它们不会降低 PGI_2 在血液中的含量。Biolipox 公司的首席科学家夏洛特·埃德纽斯 (Charlotte Edenius) 说: “我们意识到, 这种药物将是第三代非甾体类消炎药物。”

在竞争与质疑中前行

Biolipox 公司的总部设在卡罗林斯卡医学院的校园内, 公司大楼是一栋朴实无华的建筑物, 学校的科学图书馆和生物信息学教学部也在里面。萨穆埃尔松既是公司的科学顾问, 也是董事会成员。勃林格殷格翰 (Boehringer Ingelheim) 公司是 COX-2 抑制剂——Mobic 的制造商, 它在 2005 年与 Biolipox 公司签了一份合约。合约中规定, 勃林格殷格翰公司为 Biolipox 公司提供资金研发 mPGES-1 抑制剂, 研究成果与市场

销售权则归勃林格殷格翰公司所有。

在美国的药物市场上, 非麻醉类镇痛药的销售额每年超过 100 亿美元, 这也就意味着, 其他制药公司也会对 mPGES-1 虎视眈眈。默克公司已经发表了一项关于 mPGES-1 抑制剂的研究成果, 辉瑞公司则为一只小鼠申请了一项专利, 他们把小鼠体内编码 mPGES-1 的基因敲除掉, 这样就能很直观地看到 mPGES-1 的活性被抑制后会有什么样的后果。其他制药巨头也相继申请了与 mPGES-1 有关的专利。菲茨杰拉德说: “药物市场变幻莫测, 对于目前任何一种药物, 巨大的市场背后都隐藏着不安全的因素。” 他还补充说, 有一家公司 (他不愿意透露具体名称) 准备在 2007 年将他们的 mPGES-1 抑制剂推进到临床试验阶段 (另外, 还有一些公司在开发能与 PGE_2 受体结合的药物, 这样就可以直接让 PGE_2 失去作用)。

伟克适等药品带来的教训也许能制止其他消炎药物匆忙上市。其实一些持怀疑态度的人已经开始质疑了。2006 年, 《药理学趋势》(Trends in Pharmacological Sciences) 发表了一篇文章, 题为《mPGES-1 真有望成为消除疼痛的靶标吗?》。文章提出了一大疑问: 前列腺素代谢过程的复杂性是否会让新镇痛药败走麦城? 文章还评论说, 抑制 mPGES-1 的活性也许能降低 PGE_2 的浓度, 但其他种类



前列腺素的含量却会因此上升, 这会带来什么样的生理影响, 谁都不清楚。更何况除了 PGE_2 外, 其他前列腺素也能引发疼痛。

似乎只有人体安全性和药效性试验才能平息一切争论。不过, 早期的小鼠试验带来了些许希望。2006 年, 菲茨杰拉德的研究小组发表了一个报告, 他们敲除了小鼠的 mPGES-1 基因后, 对心脏有益的 PGI_2 的含量增加了, 而有害的血栓烷的含量则没有发生什么变化, 小鼠的血液没有出现异常的凝结现象, 血压也很正常。菲茨杰拉德的研究小组接下来又进行了一些试验, 结果证明小鼠的心血管因为 mPGES-1 的消失而越发健康, 也许这是因为 PGI_2 的含量升高的原因吧。

对镇痛药物的研究仍在继续, 新的药物需要像敲除 mPGES-1 基因一样, 不仅能镇痛, 还要能保护心脏、促进健康。科学家和制药公司都准备好了, 他们将告别小鼠实验, 进军人体试验了。SI

扩展阅读

Identification of Human Prostaglandin E Synthase: A Microsomal, Glutathione-Dependent, Inducible Enzyme, Constituting a Potential Novel Drug Target. Per-Johan Jakobsson, Staffan Thorén, Ralf Morgenstern and Bengt Samuelsson in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Vol. 96, No. 13, pages 7220-7225; June 22, 1999.

Is mPGES-1 a Promising Target for Pain Therapy? Klaus Scholich and Gerd Geisslinger in Trends in Pharmacological Sciences, Vol. 27, No. 8, pages 399-401; August 2006.

Deletion of Microsomal Prostaglandin E Synthase-1 Augments Prostacyclin and Retards Atherogenesis. Miao Wang, Alicia M. Zukas, Yiqun Hui, Emanuela Ricciotti, Ellen Puré and Garret A. FitzGerald in Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Vol. 103, No. 39, pages 14507-14512; September 26, 2006.

地球生命有可能来自外星？当小行星或彗星撞击到某颗星球上，便溅起大量岩石，一小部分岩石可能携带着微生物，摆脱原来星球的引力，穿越星际，“偷渡”到地球上，最后落地生根，繁衍起来。最近对火星陨石的研究表明，在从火星到地球的旅程中，微生物可以躲藏在岩石深处，穿过危机四伏的茫茫宇宙而存活下来。如果这种生命传播方式成立，那么它不仅限于火星－地球，而且还可能发生在其他星球之间。

生命来自外星球？

撰文 戴维·沃姆弗拉什 (David Warmflash)
本杰明·魏斯 (Benjamin Weiss)
翻译 波特

大多数科学家一直认为，地球上的生命是一种土生土长的现象。根据传统假说，最初的活细胞，是几十亿年前地球上化学演化过程的结果，这就是所谓的自然发生说 (abiogenesis)。还有一种可能性是，活细胞或它们的祖先来自太空。在许多人看来，这一说法如同科幻小说。然而，经过数十年的发展，越来越多的新证据表明，地球的生物圈很可能源自地外的生命种子。

行星科学家们已经清楚，在太阳系的早期历史上，公认的生命基本要素——液态水曾经存在于许多星球的表面。最近，美国宇航局发射的火星探险漫游车 (Mars Exploration Rovers) 传回的数据，证实了先前的猜测：这颗红色星球上曾经有水，至少断断续续地流淌过很久 (参见《环球科学》2007 年第 1 期《火星水世界》一文)。



火星上曾经存在生命，甚至现在还有生命存在，这并非毫无根据的天方夜谭。木星的第四大卫星——木卫二欧罗巴（Europa）上，也可能出现过生命，因为在这颗卫星的表面冰层下，似乎存在着液态海洋。土星最大的卫星——土卫六泰坦（Titan）富含有机化合物，尽管该卫星十分寒冷，发现生命的可能性微乎其微，但是也不能完全排除这种可能。即使在火热的金星上，生命也可能有立足之地。金星表面太热，大气压强太大，可能不适合居住，但是这颗行星的高层大气环境，的确可以维持微生物的生存。而且，金星表面环境很可能并不总是那么严酷，这颗行星一度还与早期的地球相似。

此外，尽管行星际空间广袤无垠，但并不像我们过去认为的那样难以逾越。过去20年来，根据一些陨石中封存的气体成分，科学家们已经确定，地球上发现的30多块陨石最初来自火星地壳。同时，生物学家也发现，躲藏在这些陨石中的生物体有足够的忍耐力，至少能在一次短途星际旅行中幸存下来。虽然还没有人断言这些特殊生物体确实经历过这样的旅行，但是它们在原则上还是可以作为证据。生命可以诞生于火星，然后迁移到地球上，反之亦然。目前，科研人员正专心致志研究生物物质在行星间的转移，希望更清楚地认识这一过程是否曾经发生。这样的努力可能会解决现代科学中最具挑战性的一些问题：生命源于何地，又如何诞生？与我们完全不同的生命形态可能存在吗？生命在宇宙中有多普遍？

从哲学到实验室

最近的模拟实验证明，当小行星或彗星撞击一颗行星时，被撞星球上的岩石可以弹射到太空，从一颗星球转移到另一颗星球。某些细菌能够搭乘这些岩石，从撞击时产生的高压高温和太空严酷的环境中存活下来，完成星际旅行。

对古代哲学家来说，生命诞生于非生命物质，这似乎太不可思议。于是一些人宁愿相信，成熟的生命形式是从其他地方来到地球上的。2500年前，古希腊哲学家阿那克萨哥拉（Anaxagoras）提出了“胚种论”（panspermia，即希腊语中“所有的种子”之意）。他认为所有的生物，乃至世间万物，都是由遍布宇宙的微小种子合并而产生的。在现代，几位首屈一指的科学家——包括英国物理学家开尔文勋爵（Lord Kelvin）、瑞典化学家斯凡特·阿伦尼乌斯（Svante Arrhenius）以及DNA结构的发现者之一弗朗西斯·克里克（Francis Crick）等人，都大力提倡过各种胚种论。当然，这一观念很少获得著名人士的支持，但是，人们并不能否认胚种论是一个严肃的假说。不论是探寻生命在宇宙中的分布和演化，还是思考生命为何偏偏出现在地球上，这个假说都不容忽视。

现代胚种论假说，更关注生命物质如何到达我们的星球，而不是生命最先如何诞生。无论最初诞生于何处，生命都必然是从非生命物质中产生的。20世纪50年代，自然发

生说从哲学领域进入了实验室。那时，美国芝加哥大学的化学家斯坦利·L·米勒（Stanley L. Miller）和哈罗德·C·尤里（Harold C. Urey）证明，利用人们认为存在于早期地球上的简单化合物，就能合成对于生命来说非常重要的氨基酸（amino acid）等分子。现在人们认为，核糖核酸（RNA）分子也能够由更小的化合物组合而成，并在生命的发展中扮演至关重要的角色。

在今天的细胞中，特定的RNA分子有助于构建蛋白质。一些RNA在基因和核糖体之间扮演着信使的角色，基因由脱氧核糖核酸（DNA）构成，核糖体（ribosomes）则是细胞的蛋白质工厂。另一些RNA把氨基酸（蛋白质的组成单元）运送给核糖体，核糖体则拥有另一种RNA。RNA与蛋白质酶相互协作，有助于把氨基酸连接在一起，但是研究者已经发现，核糖体中的RNA可以独立地完成蛋白质合成的关键步骤。在生命进化的早期阶段，所有的酶可能都是RNA，而不是蛋白质。因为RNA酶无需蛋白质酶的存在，便能合成最初的蛋白质，因此自然发生说并不像过去人们认为的那样，是一个“先有鸡，还是先有蛋”的问题。在生命出现之前，由RNA和蛋白质构成的系统，能够逐渐演化出复制自身分子结构的能力。虽然这一系统最初很粗糙，可是后来会越来越有效，生命也就此诞生。

这种对生命起源的新理解，改变了科学家们关于胚种论的争论。这已经不再是“最初的微生物要么起源于地球，要么来自外太空”这种非此即彼的问题了。在太阳系混沌的早期历史中，我们的星球频频遭受陨石的猛烈轰击，这些陨石就携带着简单的有机化合物。年轻的地球可能也接收了许多复杂的分子，这些分子尽管原始，

概述 / 来自太空的生命

◆胚种论假说认为，生物细胞或它们的祖先可能诞生于几十亿年前的其他行星或卫星，它们搭乘一块陨石，经过漫长的旅行，到达地球。

◆由于小行星或彗星撞击火星，岩石碎块被弹射而出，其中的极少数能够在数年内到达地球。

◆研究人员试图研究微生物能否在星际旅行中生存下来，以此评估胚种论的可能性。

但是已经具备了酶的功能，是准生命系统的一部分。它们在我们星球上的某个合适环境中着陆后，便会朝着活细胞的方向继续进化。换句话说，可能存在一种折中情景：生命既扎根于地球，也扎根于太空。但是，不同的生命演化阶段分别发生于何地？生命一旦出现，它又会传播多远呢？

过去，研究胚种论的科学家一直专注于评估这种观念是否合理，但是最近，他们开始尝试着估算生物物质从其他行星或卫星迁徙到地球的可能性。生物物质要启动它们的星际旅行，

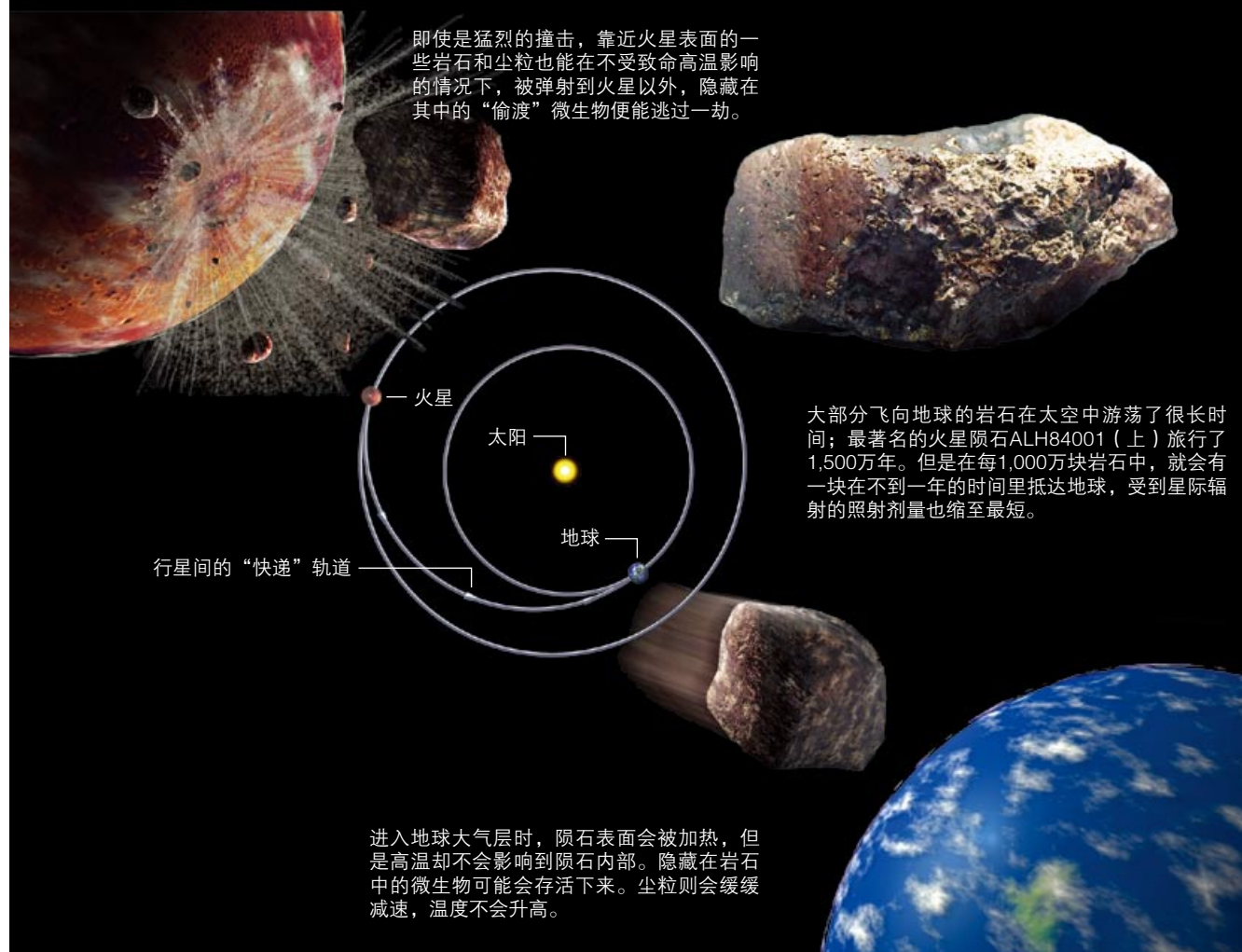
首先要借助彗星或小行星的撞击（见下图），将它们从所在的行星上弹射到太空之中。被弹射出来的岩石或尘粒在太空漫游的时候，必须被其他行星或卫星的引力俘获，然后穿越大气层（如果存在的话），充分减速之后，降落到目标星球的表面。在整个太阳系中，这种转移频频发生，不过，弹射而出的物质更容易从远离太阳的星球出发，旅行到更靠近太阳的星球，而且更容易落脚到质量更大的星球上。事实上，加拿大不列颠哥伦比亚大学的天体物理学家布雷特·格拉

德曼（Brett Gladman）所做的动力学模拟表明，从地球转移到火星上去的物质，数量远远小于从火星到达地球的物质。因此，人们在讨论胚种论时最常提及的情景就是：微生物或它们的祖先，是从火星转移到地球的。

对小行星或彗星撞击火星进行的模拟实验表明，物质可以被弹射到多种轨道之中。格拉德曼及其同事估计，每隔几百万年，火星就要经历一次猛烈的撞击，能量足以将岩石弹射起来，最终到达地球。行星间的旅程通常是漫长的：每年大约有1吨火星物

星际快递

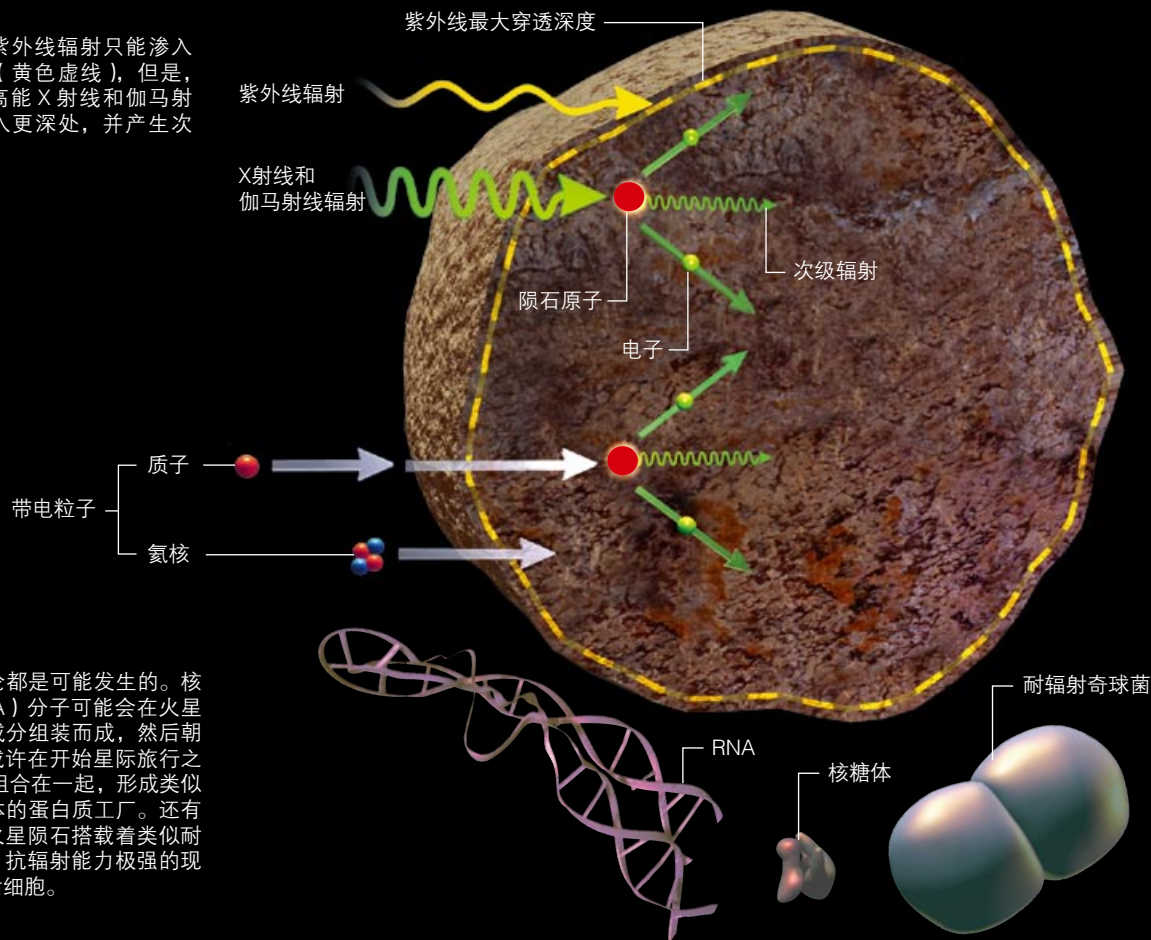
每过几百万年，就会有一颗小行星或彗星撞击火星，能量足以使岩石弹射而出，摆脱这颗红色星球的引力，并最终到达地球。如果生命是几十亿年前在火星上演化出来的，那么可以想象，含有生物物质的岩石可能会快速旅行，将地外生命种子“快递”到地球。



宇宙诺亚方舟

在危机四伏的行星际空间穿行时，辐射可能是最主要的威胁。躲在陨石内部可能是生物物质保命的最佳方式。

太阳发出的紫外线辐射只能渗入岩石几微米（黄色虚线），但是，带电粒子、高能X射线和伽马射线则可能渗入更深处，并产生次级辐射雨。



好几种胚种论都是可能发生的。核糖核酸（RNA）分子可能会在火星上由更小的成分组装而成，然后朝地球进发。或许在开始星际旅行之前，RNA会组合在一起，形成类似今天的核糖体的蛋白质工厂。还有可能的是，火星陨石搭载着类似耐辐射奇球菌（抗辐射能力极强的现代细菌）的活细胞。

质在地球上着陆，其中绝大多数都在星际旅行中耗去了数百万年时光。但是，也有一些火星岩石只用了不到一年的时间就抵达地球，不过数量非常稀少，1,000万块之中才有一块。在撞击事件发生后的3年中，大约有10块拳头般大小、质量超过100克的岩石能够完成从火星到地球的旅程。更小的碎块，比如小鹅卵石般的岩石和尘粒，似乎更容易在两个星球之间迅速旅行；而更大的岩石完成这趟旅行

的几率则低得多。

生物体能够在这种旅行中幸存下来吗？首先，让我们考虑一下：微生物能否在陨石被抛离行星母体的过程中存活下来。最近的模拟撞击实验发现，某些种类的细菌能够承受火星上典型的高压弹射过程，可以在那样的加速度和急速变化的加速度中存活下来。然而，撞击和弹射会不会把陨石加热，摧毁它所带有的所有生物物质，这一点才是至关重要的。

行星地质学家过去认为，超过火星逃逸速度的任何撞击喷出物，肯定会被蒸发掉，或至少被完全熔融。不过，这个观点后来被证明是不正确的，因为人们发现了来自月球和火星的大量未熔融的完好陨石。这些发现使美国亚利桑那大学的H·杰伊·梅洛什（H. Jay Melosh）认为，一小部分岩石在受到撞击时，确实能够在不受热的情况下，从火星上弹射出去。梅洛什提出，撞击会产生向上传播的压力波，在到达行星表面时，波的相位会发生180度的改变，几乎抵消了地表之下薄层岩石中的压力。由于这个“破碎带”只经受了极小的挤压，而下方的岩层却承受着巨大压力，因此靠近地表的

本文作者

戴维·沃姆弗拉什和本杰明·魏斯采取不同然而互补的手段，研究生命是否能从其他星球来到地球。沃姆弗拉什是美国休斯敦大学和美国宇航局约翰逊宇航中心的天体生物学家，目前正协助设计分子实验，寻找火星和木卫二欧罗巴上的微生物。魏斯是美国麻省理工学院的行星科学助理教授，他最近对各种火星陨石展开了研究，结果发现，一些陨石在从火星迁移到地球的过程中，并未受到“高温杀菌”处理。

地球生物圈可能是由一颗 来自地外的生命种子萌发而形成的。



岩石能够在变形程度较轻的情况下，高速弹射出去。

其次，我们再来探讨一下，陨石进入地球大气层时生物存活的问题。原芝加哥大学恩里科·费米研究院的爱德华·安德斯（Edward Anders）证实，行星际尘粒会在地球的上层大气中缓缓减速，从而避免了受热的危险。相反，陨石则遭受了强烈的摩擦，它们的表面通常会在穿越大气的过程中熔融。然而，这种短暂的加热最多只能深入陨石内部几毫米，因此隐藏在岩石深处的生物体当然就毫发无损。

在过去的5年里，本文作者之一魏斯及同事发表了一系列论文，分析了两类火星陨石：透辉橄无球粒陨石（nakhlite）和ALH84001陨石。前者大约在1,100万年前，因为小行星或彗星撞击而离开火星；后者离开那颗红色行星的时间，较之前者还早了400万年。ALH84001曾在1996年名声大噪，当时美国宇航局约翰逊宇航中心的戴维·麦凯（David McKay）领导的研究小组宣布，这块岩石含有类似地球细菌那样的微生物化石痕迹。不过多年过去了，科研人员还在为那块陨石里是否含有火星生命的证据而争论不休。通过研究陨石的磁特性和封存在其中的气体成分，魏斯及合作者发现，ALH84001和迄今发现的7块透辉橄无球粒陨石中的至少2块，在离开火星掉落在地球表面的过程中，经受的温度最高仅为几百摄氏度。此外，透辉橄无球粒陨石基本上都完好无损，没有因为高压冲击波而发生改变，这就说明，火星撞击事件并没有把这些陨石加热到100℃以上。

尽管不是全部，但许多陆地原核生物（prokaryote，简单的单细胞生物，没有细胞核，比如细菌）和真核细胞（eukaryote，有明确的细胞核的生物体）能够在这样的温度范围内存活。这个结果是最早的直接实验证据，表明物质可以从一颗行星旅行到另一颗行星，从弹射到着陆的整个过程中，都能够免受“高温杀菌”处理。

辐射问题

在漫漫的太空旅行中，微生物如何躲过宇宙射线的侵害？从理论上讲，某些细菌的抗辐射能力极强，甚至可以在核反应堆里繁殖。实际上，在阿波罗登月任务、“长期曝露飞行器”、“火星辐射环境实验”中，一直都有这样的微生物抗辐射实验项目。

然而，胚种论若要成立，微生物要能熬过漫漫的星际旅程。承载着生命的陨石和尘粒会暴露在真空之中，经历极端温度和各种不同射线的照射。特别需要考虑的是太阳的高能紫外线（UV），它能够破坏有机分子中碳原子之间彼此连接的化学键。不过，阻挡紫外线很容易，几微米的不透明物质就足以保护细菌了。

1984年，航天飞机把美国宇航局的长期曝露飞行器（Long Duration Exposure Facility）送上太空，6年后再由航天飞机收回。利用这颗卫星，欧洲进行的一项研究表明，一层薄薄的铝制外壳，就足以阻挡紫外线对枯草芽孢杆菌（*Bacillus subtilis*）孢子的

侵害。受到铝壳保护的孢子，即使暴露于真空中，遭受太空极端温度的考验，它们中的80%仍保持着活性，在任务结束后，仍然能够成功地转变成活的细菌细胞。那些没有铝壳防护的孢子，因为遭到太阳紫外线的直接照射，仅有大约万分之一保持着活性。葡萄糖和盐类物质的存在，增加了它们存活的比率。即使是在一个小如尘粒的物体里，太阳紫外线也不一定能让微生物群体全部灭绝。如果这些群体处在大如鹅卵石的物体内部，对紫外线的防护就会明显增强。

尽管提供了有用的信息，但长期曝露飞行器始终运行在近地轨道，处于地球磁场的保护之中。因此对于那些穿梭于行星之间，但却无法穿透地球磁层（magnetosphere）的带电粒子所产生的影响，这项研究并不能得出什么结论。有时候，太阳会爆发出高能离子和电子；以带电粒子为主的银河宇宙射线，也常常轰击我们的太阳系（参见《环球科学》2006年第4期《宇宙射线：星际旅行终结者？》一文）。保护生物体免遭带电粒子以及高能射线（比如伽马射线）的侵害，要比阻挡紫外线更为棘手。一层只有几微米厚的岩石就可以阻挡紫外线，但是，增加更多的保护层，反而会增加其他类型的辐射剂量。原因在于，带电粒子和高能光子会与保护性的岩石物质相互作用，在陨石内部产生次级辐射“雨”。

除非岩石巨大，直径在两米以上，否则岩石中的任何微生物都躲不开这些辐射雨的影响。不过，正如我们在前面所提到的那样，大岩石很难在行

星间迅速旅行。因此，除了防护紫外线外，真正的问题在于，微生物如何抵御各种成分的宇宙辐射，以及携带着生命的陨石如何从一颗行星快速移动到另一颗行星。旅行时间越短，受到的总辐射剂量越低，生存的机会就越高。

实际上，枯草芽孢杆菌抵抗辐射的本领相当高强。美国农学家亚瑟·W·安德森（Arthur W. Anderson）在20世纪50年代发现的耐辐射奇球菌（*Deinococcus radioduran*）则更加顽强。它能够承受对食物进行灭菌所使用的辐射剂量，甚至还能在核反应堆里茁壮成长。耐辐射奇球菌依赖某种细胞机制修复它的DNA、组建超厚的外部细胞壁，保护自身免遭辐射伤害。同样的机制还能够减轻脱水对它的伤害。从理论上讲，具有如此能力的生物，如果能够深藏在某种物质内部，从火星弹射而出，又像透辉橄无

球粒陨石和ALH84001那样没有过度受热的话，即使在行星际空间旅行几年，甚至几十年后，仍然可以保持活性。

但是，在地球磁层之外，有活性的生物体、孢子或复杂的生物分子是否真的能够长期存活，还从来没有得到实验验证。要想进行这样的实验，就要把生物物质放进模拟的陨石物质中，并把它们暴露在行星际空间的严酷环境之中。月球表面也许是这类实验的理想场所。实际上，阿波罗登月任务就搭载了生物样品，这是早期欧洲辐射研究的一部分。但是，最长的阿波罗登月任务持续时间也不超过12天，而且样品被安放在阿波罗飞船内部，并没有完全暴露在太空辐射环境中。将来，科学家将把实验装置安放在月球表面或行星间的轨道上，让它们在太空呆上几年，再把它们取回来进行实验室分析。目前，科学家正在

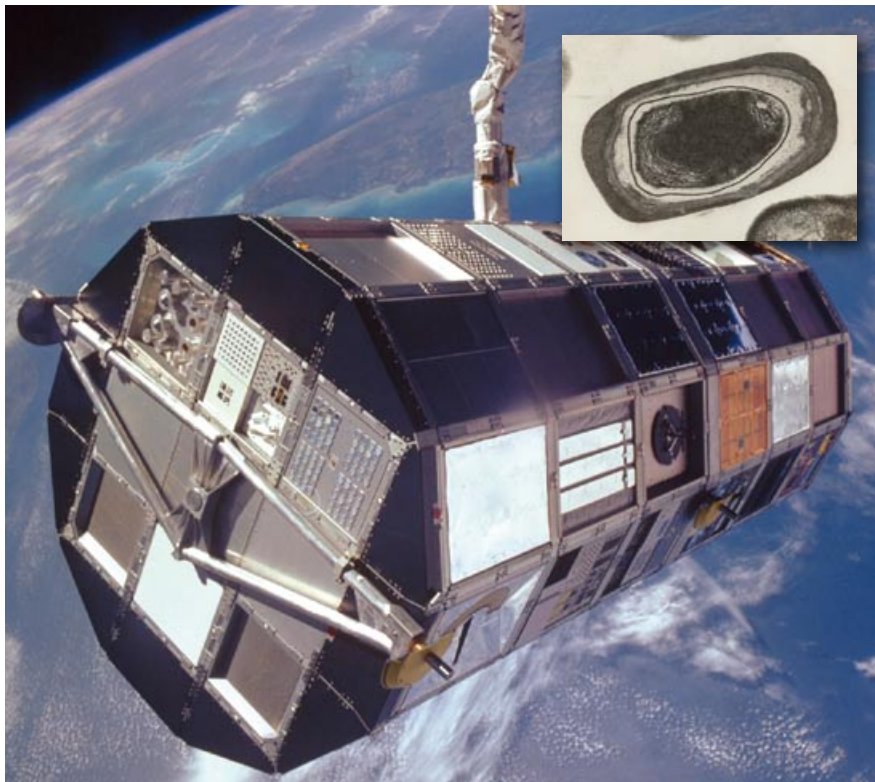
考虑采用这些方法。

现在，一项叫做“火星辐射环境实验”（Martian Radiation Environment Experiment，缩写为MARIE）的长期研究正在进行。2001年，美国宇航局发射了“火星奥德赛”飞船，MARIE作为飞船的一部分也随之升空。在火星奥德赛环绕那颗红色星球飞行的过程中，MARIE测量了银河宇宙射线和高能太阳粒子的剂量。虽然这个实验装置中并没包含生物物质，但它的传感器却是针对为害DNA最烈的那部分宇宙射线所设计的。

未来的研究

地球上的生命究竟是本地“土著”，还是“天外来客”？在我们这个星球上，一些与地外生命有关的奇异生物，或许就藏在我们的眼皮底下……

正如我们已经了解的，胚种论在理论上看似合理。这个假说的一些重要观点，已经从合理的猜想转变成了定量的科学。陨石证据显示，行星间物质的转移贯穿太阳系的历史，这一过程现在仍在以很高频率发生。而且，实验室研究已经证明，从一个体积相当于火星的行星弹射出的一块行星物质，如果内部携带着微生物体的话，其中相当一部分将能够在弹射到太空和穿越地球大气层的过程中存活下来。但是，要证实胚种论假说中的其他部分则更困难。研究者还需要更多的数据来判定，抗辐射的生物体（如枯草芽孢杆菌和耐辐射奇球菌）能否在星际旅行中活下来。而且这一研究很可能无法揭示，地球生物圈发生行星生物体转移的实际可能性有多大，因为研究都涉及现代地球的生命形式；数十亿年前，生物体所处的环境，可能更好，也可能更糟。



■美国宇航局的长期曝露飞行器携带着细菌种类——枯草芽孢杆菌的孢子（见小插图），在轨道上呆了6年。研究者发现，一层铝制外壳就足以孢子挡住破坏力极强的紫外线辐射，使80%的孢子存活下来。

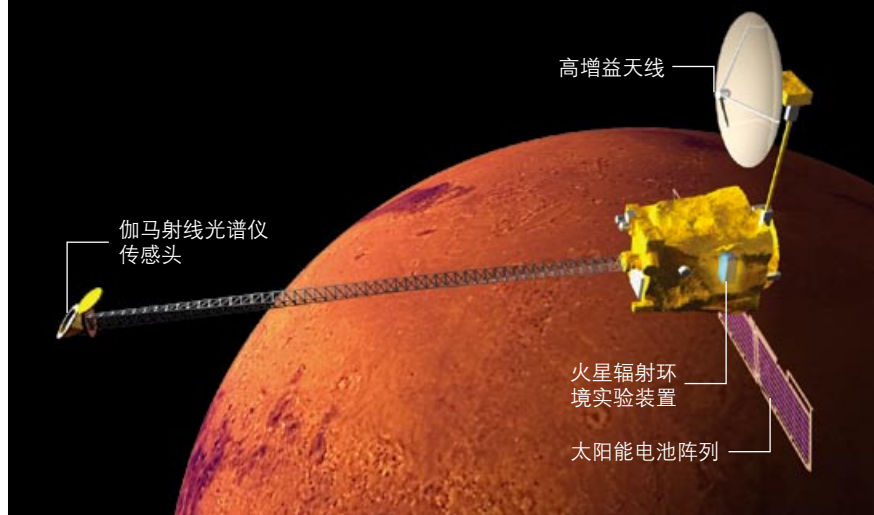
此外,科学家还不能量化地球以外其他行星上生命存在或曾经存在的可能性。研究者对任何生命系统的起源,包括我们地球上的生命系统,都还了解得不够,因此对于任何一颗星球来说,我们都无法判断生命自然发生的可能性。如果有了合适的成分和条件,生命也许需要几亿年的时光才能诞生,也可能只需要5分钟就够了。我们目前唯一可以确定的是,在27亿年前,或者还要早几亿年,生命已经在地球上茁壮成长起来。

现在对胚种论场景的所有步骤进行量化还不可能,因此研究者无法估计,在一个特定的时间段内,有多少生物物质或多少个活细胞可能会到达地球表面。此外,就算活体生物能够顺利完成星际旅行,也并不意味着它们一定就能在目标星球上成功地繁衍,特别是在目标行星上已经有了生命的情况下。例如,如果在我们的星球独立演化出生命之后,火星微生物才到达地球,这些地外生物可能无法取代本土物种,或者与本土物种共存。当然,来自火星的生命过去也可能确实来到了地球上,并且找到了一小块适合生存的空间,只是科学家根本不曾识别出它们。科学家记录在册的细菌,只是我们地球上所有细菌种类中的百分之几。许多与地球上已知生物没有遗传关系的物种,也许就隐藏在我们的眼皮底下,而我们却毫不知情。

除非科学家在其他行星或卫星上发现生命,他们才能最终确定胚种论是否发生过,它的规模有多大。例如,如果未来的太空任务在火星上发现了生命,而且火星的生化条件与地球的生化条件学完全不同,那么研究者就会立刻知道,地球上的生命并非来自火星。然而,如果两个星球的生化条件学相似,科学家就有理由怀疑,这两个生物圈也许有一个共同的起源。

监测火星

“火星奥德赛”飞船安装了一个叫做“火星辐射环境实验装置”(MARIE)的设备,用来测量行星际环境的危险。当飞船环绕这颗红色行星运行时,这个装置会测量银河宇宙射线和高能太阳粒子。



假设火星的生命形式利用DNA存储遗传信息,研究者研究它们的核苷酸序列(nucleotide sequence),即可真相大白。如果火星生物的DNA序列与地球上生物细胞制造蛋白质时所使用的遗传信息不一致,研究者就能断定,火星-地球胚种说是站不住脚的。但是,还会出现很多其他可能性。科研人员也许会发现,火星生命利用RNA或其他什么东西来引导它们复制。实际上,地球上一些有待发现的生物也可能被归入此类,这些奇异的地球生物也许会被证明与火星生命有某种联系。

无论地球生命是从地球上诞生,

还是通过生命胚种降自太空,或者两者兼而有之,答案都将意义深远。如果证明了火星-地球胚种论,那就说明生命一旦出现,就能轻易在一个恒星系里扩散。另一方面,如果科研人员发现火星生命的证据,而且它们与地球生命无关,那么就说明生命现象可以在整个宇宙中轻易地自然发生。此外,生物学家也可以比较地球生物和地外生物,逐渐形成一个更加普遍的生命定义。我们最终将开始理解生物学的法则,如同我们理解化学和物理的法则一样——它们都是大自然的基本特性。SY

扩展阅读

Worlds in the Making: The Evolution of the Universe. Svante Arrhenius. Harper, 1908.

The Structural Basis of Ribosome Activity in Peptide Bond Synthesis. P. Nissen, J. Hansen, N. Ban, P. B. Moore and T. A. Steitz in *Science*, Vol. 289, pages 878–879; August 11, 2000.

Risks Threatening Viable Transfer of Microbes between Bodies in Our Solar System. C. Mileikowsky, F. A. Cucinotta, J. W. Wilson, B. Gladman, G. Horneck, L. Lindegren, H. J. Melosh, H. Rickman, M. Valtonen and J. Q. Zheng in *Planetary and Space Science*, Vol. 48, Issue 11, pages 1107–1115; September 2000.

Martian Surface Paleotemperatures from Thermochronology of Meteorites. D. L. Shuster and B. P. Weiss in *Science*, Vol. 309, pages 594–600; July 22, 2005.

Origins of the Genetic Code: The Escaped Triplet Theory. M. Yarus, J. G. Caporaso and R. Knight in *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 74, pages 179–198; July 2005.



行星 为什么是行星

撰文 史蒂文·索特 (Steven Soter)
翻译 谢懿

➔ 新定义公布，“九大行星”成为历史。今天还留在行星舞台上的天体究竟拥有怎样的特质，才配得上行星的称号？原来，新定义更强调行星的强势地位：它们有能力清除异己，支配自己的轨道区域。

大多数人心目中的“行星”，都是传统定义下的行星：它们围绕恒星运动，靠反射恒星的光发光，体积比小行星大。虽然这个定义可能并不十分精确，但它已经能够把我们当时所知的天体清楚地划分开来。然而，到20世纪90年代，一系列引人注目的新发现，让这个行星定义站不住脚了。在海王星轨道以外，天文学家发现了数百个冰质天体，其中一些还相当大，它们占据着一个环状区域——“柯伊伯带” (Kuiper belt)。在其他恒星的周围，人们又发现了其他行星，其中许多行星的轨道和太阳系行星的轨道大相径庭。他们还发现了褐矮星（模糊了行星和恒星的界线），以及在黑暗的星际空间中，孤身游荡的类行星天体。

这些发现引发了一场争论：到底是什么是行星？最终，国际天文学联合会 (IAU，天文学家们的主要专业团体) 在2006年8月修改了行星的定义：围绕恒星转动，拥有足够大的质



■在行星的舞台上，冥王星总有点格格不入。如今，行星行列里已经没有它的容身之地。

量进而呈球形，“已经清空了其轨道周围邻近的区域”（关键判据）的天体。新定义把冥王星逐出了行星的行列，人们为此争论不休。一些天文学家拒绝使用这个新定义，还将发表一份抗议声明。

这不只是一场有关遣词用字的争论，而是一场重要的科学论战。新的行星定义，折射出我们对太阳系及其他行星系统结构的认识取得了进步。这些行星系统在旋转的气体盘中通过吸积过程形成：小颗粒聚集形成大颗粒，大颗粒进一步聚集成更大的物质团块……这一过程最终会产生寥寥几个大质量天体——行星，和大量的小天体——小行星和彗星（行星形成过程中的残骸）。简言之，“行星”并非一个随心所欲的人为分类，而是自然界中一类真真切切的天体。

从“地心说”时代把太阳、月亮、水星、木星、金星、火星、土星归类命名为行星开始，中间加加减减，修改行星定义的情况也早有先例（参见

《环球科学》2006年10月号《冥王星降级冲击波》一文）。迈入21世纪后，越来越多、越来越大的柯伊伯带天体（KBO）闯入人们的视线，如果冥王星也算行星，那这些天体是不是也要归在行星一类？

划分地盘

原先提出的球形判据虽然能保住冥王星的位子，但无法量化。所幸，自然界早已提供了划分标准——行星有能力清空自己所在的轨道区域，统治自己的地盘。

为了避免行星数目没完没了地增加，2000年，美国西南研究所的

阿兰·斯特恩（Alan Stern）和哈罗德·利维森（Harold Levison）建议，行星可以被定义成：质量小于恒星，但又大到足以使自身的引力克服结构刚性而呈球形的天体（当天体的质量达到一定程度，强大的万有引力就能战胜其他力量，把天体压到接近球形。因为只有球形才能使表面上的任意一点到中心的距离都相等，没有任何一部分可以进一步地“掉”向中心）。绝大多数半径超过几百千米的天体都满足后一个条件。较小天体的形状通常不规则，其中不少基本上只是巨大的石块而已。

美国哈佛大学的欧文·金格里奇（Owen Gingerich）领导的IAU行星定义委员会比较拥护这个定义。它保住了冥王星的行星地位，但也要付出代价：可能将有不少KBO加入行星的行列，谷神星（Ceres，目前已知最大的，也是惟一呈球形的小行星）也要升级成行星。

许多天文学家指出，球形判据不充分。从实践上讲，很难观测到KBO的形状，因此还是无法划分。另外，小行星和KBO形状各异、大小不一，我们如何才能量化用于界定行星的球形程度呢？如果设定一个天体的形状偏离球形1%，也算引力完全支配了这个天体，那么偏离10%，还算不算？大自然并没有提供区分球形和非球形的界线，这样的界线都是人为主观划定的。

不过，斯特恩和利维森还提出了另一个判据，可以精准地划分天体。他们注意到太阳系中的一些天体质量

概述 / 行星定义

◆ 2006年8月，国际天文学联合会的成员投票，把行星定义成：一个围绕恒星转动的天体，具有足够的质量而呈球形，并且已经清除了它邻近区域中的其他天体。这个定义试图平息长久以来的争论，结果事与愿违，反而像是火上浇油。

◆ 反对者指出，这个定义随意又不精确，但这个指控毫无根据。太阳系清楚地分成了两派：8颗支配着各自轨道区域的大质量天体和一大群具有相交轨道的小天体。这一结构反映出太阳系形成和演化的方式。

较大，由此清除或散射了它们邻近的天体（小天体受到行星的引力干扰，脱离原有轨道，被排挤到其他地方）。而小天体只能在动荡的、不稳定的轨道上运行，或者由大质量天体帮助它们维持轨道稳定。以地球为例，近地小行星之类的天体如果太接近地球，就会被地球清除或散射掉。同时，它还保护自己的卫星免遭清除或散射。4颗巨行星也控制着各自的一群卫星。木星和海王星通过稳定的共振，在特定轨道上维持着它们的小行星族——特洛伊小行星（Trojan）和KBO族——微型类冥行星（Plutino）轨道的同步性，避免了小天体和行星之间的碰撞。

这些动力学效应为定义行星提供了一条可行之道：行星是一个质量大到足以通过散射、直接碰撞来清除小天体，或通过把小天体控制在稳定轨道上，来支配自己轨道区域的天体。按照基本的物理规律，大质量天体在太阳系形成至今的将近50亿年内，散射小天体的概率与它质量的平方（表征大质量天体散射小天体的能力）成正比，与它的轨道周期（反映了交会发生的概率）成反比。

从水星到海王星，8颗行星清除和散射小天体的能力是最大的小行星和KBO[包括谷神星、冥王星和阋神星（Eris，此前音译为厄里斯，目前尚未确定正式译名，这里采用了天文学名词审定委员会赵君亮教授提出的译法）]的数千倍。水星和火星自身的质量并不足以散射周围所有的天体，但水星依然可以清除绝大部分近

本文作者

史蒂文·索特是位于纽约的美国自然历史博物馆天体物理部的研究助理，博物馆派驻纽约大学古代研究中心的科学家。在那里他为本科生开设“科学思考和推理”、“地质学与地中海古迹”等专题讨论班。他还曾与卡尔·萨根（Karl Sagan）和安·德鲁彦（Ann Druyan）合作拍摄了系列片“宇宙”。

“新”太阳系

国际天文学联合会通过的行星定义是基于观测到的太阳系结构而形成的，其中占少数但却起着支配作用的8颗行星拥有较大的轨道间距，而小行星、彗星和KBO则与之形成对比。曾经被认为是行星的谷神星和冥王星（包括阋神星）只是小天体中的一员。特洛伊小行星和木星共享同一条轨道，在动力学上受木星的控制。半人马彗星则位于木星和海王星的轨道之间。

散射盘

冥王星

柯伊伯带

海王星

阋神星

天体分类

第一类天体： 恒星、褐矮星、亚褐矮星

星际云在自身引力下的坍缩造就了这一类天体。其中，恒星的质量至少是木星的80倍，可以进行稳定的氢聚变。质量在13倍~80倍木星质量之间的天体可以进行短时间的氘核聚变（氘是氢罕见的同位素），被称为褐矮星。质量更小的则是亚褐矮星。

第二类天体：行星

围绕着第一类天体的物质盘中的颗粒聚集成团，形成了第二类天体。这类天体经历了雪崩式（runaway）生长的过程，其间清除了绝大部分剩余的物质。当行星达到一个临界尺度时，就可以维持住一个厚厚的气体包层。

第三类天体：卫星

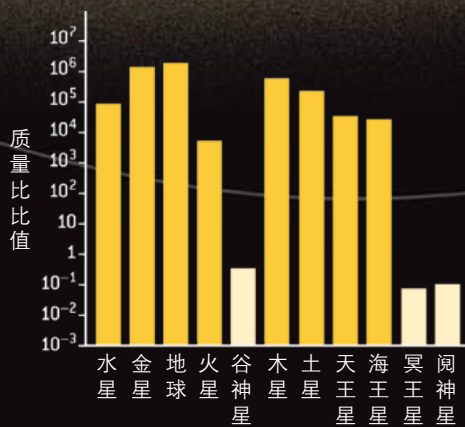
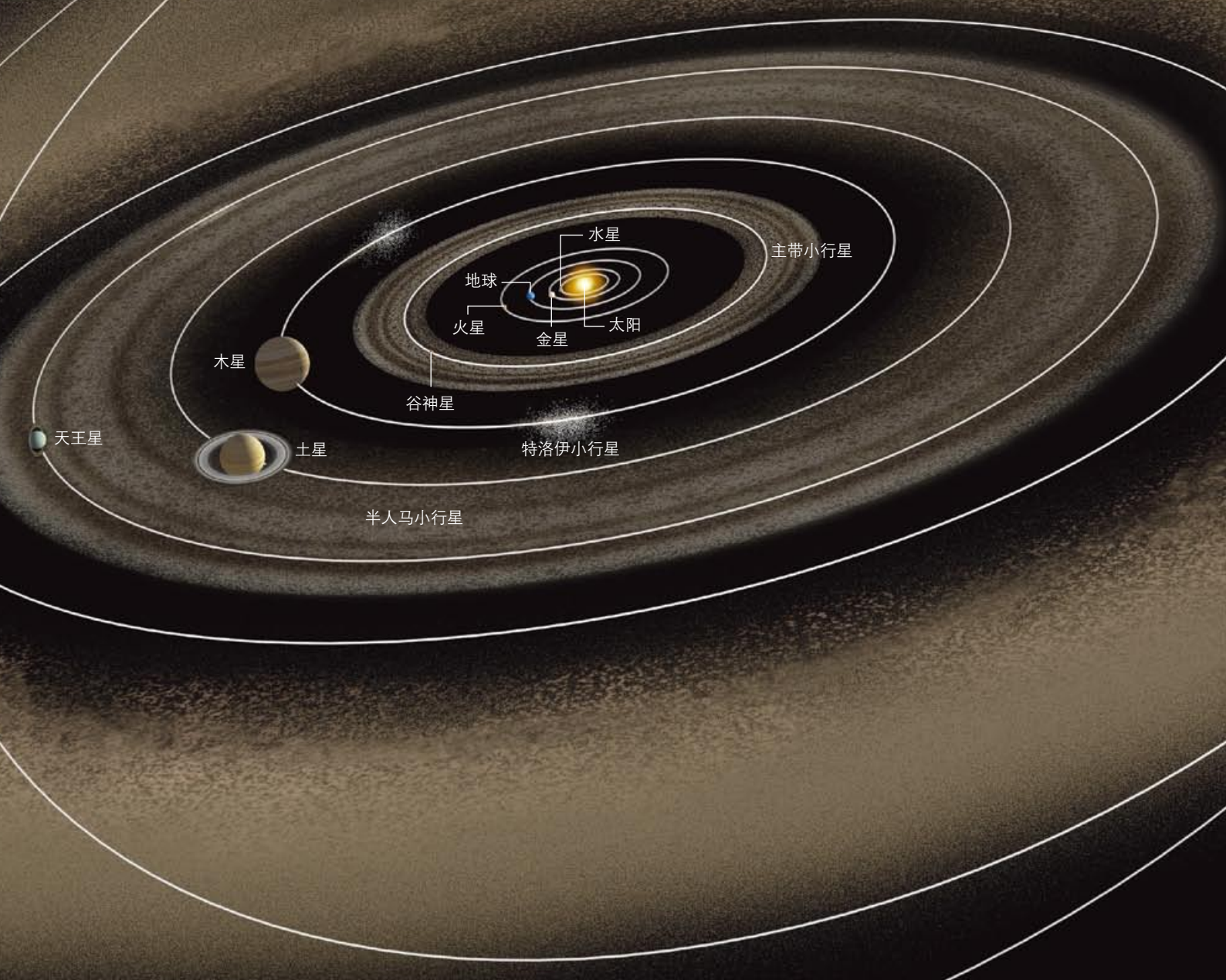
这类天体围绕着第二类天体运动。它们要么是就地形成的，要么是行星从独立轨道上俘获过来的。

残骸： 小行星、彗星、KBO

这类天体的形成过程与第二类天体的类似，只是半途而废了。它们无法在动力学上统治自己的轨道区域。小行星是小型的岩质天体，绝大多数位于火星和木星之间的小行星带内。KBO是小型的冰质天体，位于海王星轨道以外，可能是绝大多数周期彗星的发源地。小行星和彗星之间的区别有时模糊不清：彗星通常含有更多的挥发性气体，而且诞生在离太阳比较远的地方。

离群的行星

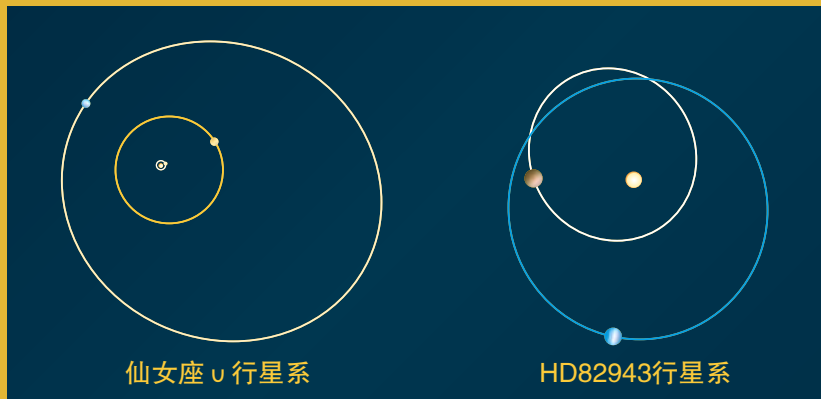
这类天体的诞生过程跟第二类天体别无二致，但却被抛射到星际空间中。模拟显示，在银河系中，这一类天体比恒星还要多。尽管很难探测到这类天体，但它们与第一类天体中那些流浪的亚褐矮星还是有些不同之处。



行星（金色）和小天体（淡黄色）在它们的质量比（这个天体的质量与其轨道区域中所有其他天体的质量总和之比）上存在明显差异。8颗行星的质量比都在5,000以上，而冥王星的质量比还不到1。质量比等于100可以作为在太阳系中划分行星和非行星的分界线。

银河系中的其他行星

少数天体支配着轨道区域，也是已知的其他行星系统的特性之一。绝大部分情况下，行星的轨道互不相交（如仙女座U行星系），因此它们之间不会发生碰撞。即使在少数情况下轨道出现了交叉（如HD82943行星系），轨道的同步性也可以避免碰撞。



行星定义问与答

Q: 行星定义不是人为主观划定的？

A: 科学家们需要精确的定义，以便有效交流。谨慎的定义反映出我们对自然界基本关系的认识。如果新发现使旧定义变得容易引起误解，或不再适用，我们就应该相应地修改定义。

Q: 以前把行星定义成围绕恒星的、不发光，并且比小行星大的天体，有什么错吗？

A: 这个定义无法把 KBO 和行星区分开，可它们明显就不一样。

Q: 国际天文学联合会通过的行星定义说，行星“已经清空了其轨道的邻近区域”，但许多小行星和彗星都会穿越地球的轨道，为什么地球还是算作行星呢？或者，就这一点而言，木星为什么还是行星？特洛伊小行星就位于木星的轨道上，木星也没有“清空它轨道的邻近区域”。

A: 彻底清空是不可能的，因为小行星、彗星和微流星体会不断地闯入行星的领地。但与行星的质量相比，这些残骸的总质量完全可以忽略。更精确的定义是，行星是“支配”了它轨道区域的天体。木星的引力控制了特洛伊小行星的轨道。国际天文学联合会的定义是正确的，但是无条件地使用“清空”一词难免会造成混淆。

Q: 冥王星和海王星的轨道相交，为什么海王星可以称作行星，而冥王星不能？

A: 海王星的质量是冥王星的 8,000 多倍，在引力上支配了它的邻近区域。很久以前，海王星就把冥王星锁定在跟自己共振的轨道上，避免了两两者之间潜在的碰撞。冥王星自身质量太小，除了支配它的卫星（冥卫一就是其中之一，它的个头几乎与冥王星差不多大），再也无法支配其他任何天体。

Q: 拥有卫星能否作为行星的判据？

A: 不能。很多小行星和 KBO 都有卫星，相反，水星和金星却没有卫星，但是没人能质疑水星和金星的行星地位。

Q: 如果我们在柯伊伯带外延发现了火星大小的天体，或者甚至在奥尔特云发现了海王星大小的天体，我们能称它们为行星吗？

A: 按照新定义不能，因为这样一个天体无法支配它附近的区域。我们也许要创造一个新词来为它们命名。

Q: 相比根据天体的轨道特征分类，用它们内在固有的特性不是更实用吗？

A: 不一定。我们已经根据轨道特性把许多天体归为“卫星”。其中一些甚至比行星还要大，而另一些则是被俘获的小行星或者彗星，它们在本质上与小行星或彗星没有区别，所以我们按照“围绕行星运动”这一动力学特征来对它们进行分类。

距离穿越水星轨道的小天体，而火星的引力也足以把飞临的天体逼上不稳定的轨道，这其中也包括了一些与木星呈 1:3 或 1:4 轨道共振的小天体（当两个天体的公转周期成简单整数比关系，它们之间互相受到周期性引力影响，出现轨道共振）。只要这些天体被散射到不稳定的轨道上，木星就会帮助火星将它们驱逐出境。

一个天体的动力学状况决定了它清空邻近区域的能力；这并不是天体内在固有的特性。但动力学能力上的巨大差异让行星和其他天体看起来泾渭分明。我们不需要人为划定界线，因为大自然已经帮我们做到了这一点（至少在太阳系如此）。

统治轨道区域

行星有能力清除异己，庇佑自己的卫星和其他臣服于它的小天体。这些“臣民”有幸与“国王”共享轨道，但它们的重量全部加起来也不及行星重量的千分之一，在这一点上，小行星和 KBO 望尘莫及。

2004 年，美国加州理工学院的天文学家迈克尔·布朗（Michael Brown）提出了一个相关的判据。他认为“太阳系中的任一天体，只要质量大于和它具有相似轨道的其他天体的质量总和”，就可以定义为行星。为了更确切，我建议把“相似轨道”改成“轨道区域”（orbital zone）。如果两个天体的轨道相交，轨道周期相差小于 10 倍，并且没有处于稳定共振中，那么它们就共享了轨道区域。为了应用这个定义，我调查统计了所有已知的围绕太阳运行的小天体。

例如，地球和大约 1,000 颗直径超过 1 千米的小行星分享轨道，其中绝大部分来自火星和木星之间的主带

小行星带，这些小行星的质量加起来不足地球质量的 0.0001%。我们可以用 μ 来表示一个天体的质量与跟它共享轨道的所有天体的质量和的比值。地球的 μ 值约为 170 万——这似乎是太阳系中最高的。木星的质量是地球的 318 倍，但它和一大群小天体分享轨道。行星中数火星的 μ 值最小（5,100），不过，这个数字也远远大于谷神星的 0.33 和冥王星的 0.07（见上一頁的图表）。可见，行星与小行星、KBO 之间有着巨大的差异。冥王星显然是一颗 KBO。

这些论据说服了 IAU，他们决定采用“清空”邻近轨道来定义行星。为了完善定义，IAU 可能需要确定一个界限——一个天体清除其他天体，要清除到什么程度才称得上行星。我建议将 μ 值的界线设在 100。这意味着，在太阳系中，如果一个天体占据了其轨道区域中超过 99% 的质量，那它就是行星。其实，确切的取值并不重要，从 10 到 1,000 之间任选一个数值，效果都一样，因为除了 8 颗行星以外，其他天体都差得远。

因此，行星是一个已经清空或者散射掉轨道区域中绝大部分质量的天体。行星和非行星之间的巨大差异，正体现了太阳系演化的重要特点：太阳系里所有的天体都诞生于一个围绕原始太阳转动的扁平的尘埃气体盘中。它们的形成是自主扩张的过程（体积越大，成长速度就越快，引力作用范围也急剧拓宽），最后会形成统治着大片轨道区域的单个较大的天体，不会出现天体大小呈连续分布的情况。较小的天体则会被驱逐出太阳系，或者掉入太阳，幸存下来的就是我们今天看到的行星。而小行星、彗星，包括 KBO，都是剩下的残骸。

我们的太阳系现在处于吸积过程的扫尾阶段。如果轨道相交，小行星

也可能会撞上行星，或另一颗小行星。柯伊伯带是原始吸积盘外延的遗迹，那里的物质由于过于松散，无法聚集成行星。太阳系中行星的轨道不存在交叉，不可能发生碰撞。作为动力学上占支配地位的天体，它们必定是少数派。如果另一颗行星妄图挤进早已存在的行星之间，引力摄动最终会让它的轨道变得不稳定。

在其他行星系统也出现了类似的情况。到目前为止，天文学家已经发现了 20 多个行星系统。绝大多数情况下，行星的轨道互不相交，只有 3 个例外。这 3 个相交的轨道看来处于共振状态，也不至于发生碰撞。在所有已知的类太阳恒星系统中，中心恒星的非恒星伴星（比如褐矮星之类）都大得足以散射附近的小天体，根据动力学支配判据，这些伴星也可以归为行星。

游戏结束

新的官方定义抓到了关键判据，种种争议都能在这个定义中得到比较圆满的解答。文化和传统留不住冥王星，教科书也要改改了，不变的是不断追求真理的科学精神。

实际上，行星是在恒星周围的吸积盘中形成的，是吸积过程的最终产物。这个定义只适用于吸积过程已经完成的成熟系统，例如我们的太阳系。对更年轻的系统而言，吸积过程仍然发挥着重大作用，严格地讲，那些系统的吸积盘中最大的天体还不能被称为“行星”，应该被称作“行星胎”（planetary embryo），更小的天体则应当叫做“星子”（planetesimal）。

严格说来，没必要强调球形，但 IAU 还是把它纳入了新定义。轨道清空判据已经足以区分行星和小行星以

及彗星。这个定义还去掉了行星的质量上限（也就是行星区别于褐矮星和恒星的界线）。相对罕见的近距离围绕恒星的褐矮星可以归为行星；人们认为它们是通过盘吸积形成的，而轨道更大的褐矮星的成因不同。

简言之，无论在理论上，还是在观测上，行星和非行星的差异都是可以量化的。太阳系中的所有行星都具有足够的质量来清除或者散射其轨道区域中的原始星子。现在，每颗行星的质量至少都是附近所有残骸质量总和的 5,000 倍以上。相对地，小行星、彗星和 KBO（包括冥王星）总是处于与之相当的一大群天体中。

反对的人争辩道，天体应该按照它们的内在固有特征来分类，而不是按照位置和动力学特征。他们或许没有注意到，卫星就是这样定义的：所有围绕行星运动的天体都归为“卫星”，虽然有两个卫星的个头比水星还要大，还有不少是被俘获的小行星和彗星。动力学特征和位置显然很重要。实际上，在太阳系中，行星到太阳的距离早已决定近一点的天体是较小的岩质行星，而距离较远的是富含挥发性冰和气体的巨行星。因此，为了区分行星和太阳系小天体，新定义采用了动力学支配轨道区域的判据也同样无可厚非。8 颗行星是盘吸积过程中占主导的最终产物，明显有别于小行星和 KBO。

九大行星的定义无疑具有强烈的



■ 2006 年，国际天文学联合会裁定，冥王星今后不能再使用行星的称号。不过，它也找到了新伙伴——阋神星（Eris）和谷神星（Ceres），如今它们并称为矮行星。

情感吸引力，但上一辈在冥王星身上使用的定义，无法表达 20 世纪 90 年代初以来，我们对太阳系起源和结构认识的深刻变革。76 年来，学校一直教导孩子们：冥王星是一颗行星。一些人认为文化和传统足以挽留冥王星，但科学容不得过去错误的束缚。为了使科学的定义发挥作用，应该以自然结构为依据下定义。新发现引起了人们的认识变革，现在有必要对此作出反应，修改行星定义。行星定义的争论为教育者提供了一个绝佳的范例：科学概念并非一成不变，它一直在进步。SA

扩展阅读

Regarding the Criteria for Planethood and Proposed Planetary Classification Schemes. Presented at the XXIVth General Assembly of the IAU, Manchester, U.K., August 7–18, 2000. S. Alan Stern and Harold F. Levison in Highlights of Astronomy, Vol. 12, pages 205–213; 2002. www.boulder.swri.edu/~hale/planet-def.pdf

Planetesimals to Brown Dwarfs: What Is a Planet? Gibor Basri and Michael E. Brown in Annual Review of Earth and Planetary Sciences, Vol. 34, pages 193–216; 2006.

What Is a Planet? Steven Soter in Astronomical Journal, Vol. 132, No. 6, pages 2513–2519; December 2006. Preprint available at arxiv.org/abs/astro-ph/0608359

A World on the Edge. Michael Brown. Available online at http://solarsystem.nasa.gov/scitech/display.cfm?ST_ID=105

人们一直认为，使用
由玉米作物制造的乙醇燃
料既节能又环保。但最新
研究证明，这不过是一个
容易让人迷惑的误区。事
实上，从作物中提取乙醇
的过程，不仅会耗费大量
粮食和化石燃料，还会产
生大量温室气体。不过，
目前一些公司试图利用来
源广泛的纤维素提取乙
醇，一旦突破关键技术瓶
颈，纤维素乙醇全面取代
汽油也就指日可待了。

乙醇燃料 风波骤起

撰文 马修·L·沃尔德 (Matthew L. Wald)
翻译 赵学庆

如果你有机会来到美国南达科他州苏福尔斯机场的候机大楼，不妨趁着行李运到前的空闲四处参观一下。一辆绿白相间的印地赛车 (Indy) 穿梭在几条行李传送带之间，车身上的贴花图案标明它以乙醇 (ethanol) 作为燃料；在租车公司的摊位前，有一个醒目的标志，提醒客户不要给出租车加注 E85——当地出售的超级乙醇混合燃油，这种混合燃油会损坏出租车引擎，因为当地的出租车并不是为这种混合燃油而设计的。

乙醇之乡苏福尔斯，是美国将碳水化合物 (carbohydrate) 转变为碳氢化合物 (hydrocarbon) 的推广中心。

在美国，乙醇热潮持续高涨，甚至开启了一个燃油转换过渡期，规模之大，恐怕只有 40 年前电力行业建造的数百座核电厂方可媲美。2005 年 8 月，美国国会通过了一项重要能源法案，要求到 2012 年，将乙醇年产量从 2005 年时的 40 亿加仑左右增加到 75 亿加仑（1 加仑约等于 3.8 升），以便取代进口燃油。业界人士认为，在美国政府的税收优惠和补贴政策扶持下，特别是如果油价仍然居高不下，那么这一目标的实现有望大大提前，因为将农作物转化为乙醇的成本，远远低于 2006 年秋天的汽油零售价——每加仑 2.50 美元。

实际上，据美国可再生燃料协会 (Renewable Fuels Association) 介绍，2006 年美国的乙醇产量超过 50 亿加仑。与每年约 1,400 亿加仑汽油和柴油消耗量相比，虽然这一数量还显得微不足道，但是乙醇产量在一年内却增长了 50%。美国能源部 (DOE) 负责能效和可再生能源的副部长安迪·卡斯纳 (Andy Karsner) 称，由于高油价增加了乙醇的市场吸引力，开发商纷纷修建乙醇工厂。他断言美国将出现一个乙醇繁荣期，“类似于 19 世纪 50 年代宾夕法尼亚州的石油热”。

这股热潮真能给人们带来好处吗？实际上，目前我们生产乙醇的方式并没有多大优势。美国所有的商业乙醇燃料都用玉米粒制造，采用能量密集型

的生产方式。一些研究表明,炼制一加仑乙醇所耗用的能量,甚至高于它燃烧时所提供的能量。即使一些支持玉米乙醇的研究,也只能证明它的能源净收益微乎其微;另一种持反对意见的研究则表明,同原油-汽油循环比起来,玉米-乙醇循环在减少温室气体方面的作用,几乎可以忽略不计。

在乙醇生产厂商完善纤维素 (cellulose) 乙醇生产方法



具有讽刺意味的是,为了制造“本土”乙醇,美国将不得不进口更多的天然气。

之前,玉米乙醇毫无经济或环保意义。纤维素是组成玉米秆、树木及其他草本植物草茎的木质成分,对它的管理和收割只需要耗费较少的能源。但是,虽然科学家知道某些基于生物学的加工方法,可以转化纤维素中的糖分,但是是一些试图生产纤维素乙醇的公司,迄今也未能形成商业规模的批量生产。甘蔗是最佳植物能源,它所拥有的可用于制造乙醇的糖分含量,远远高于玉米秆和草本植物中的含量,但是美国缺乏巴西那样的气候条件和廉价劳动力,无法对甘蔗进行开发利用。

要实现用纤维素生产乙醇,就需要对农业生产和工业生产工艺进行重大改进。否则,乙醇仍将是几乎没有任何净收益的、难于利用的产品,美国也将继续依赖进口石油。

玉米乙醇:可再生能源?

不少人一直把用玉米生产的乙醇视为“可再生能源”。据最新调查统计,生产一加仑玉米乙醇可谓“入不敷出”,所耗用的其他能量(如天然气、柴油)几乎接近或甚至高于它所产生的能量。况且,各生产环节中排放的二氧化碳,也有悖于“清洁能源”的初衷。

概述 / 神话与现实

◆尽管美国政治家们雄心勃勃地大力推行从本土玉米中提取乙醇,替代从国外进口的石油,但这种转化在能源上几乎毫无意义。生产玉米乙醇需要耗费大量化石燃料,而且即使把美国生产的全部玉米都转化为乙醇,也只能满足当今美国汽车燃料消耗量的7%。

◆研究表明,从玉米粒中提取乙醇的生产过程所产生的温室气体,与炼制汽油所产生的温室气体相差无几,因此汽车采用玉米乙醇燃料,对减少污染几乎毫无帮助。

◆从纤维素(玉米秆、谷类作物禾秆和草本植物草茎)中提取乙醇所消耗的化石燃料,远远少于从玉米粒中提取乙醇所消耗的化石燃料。但是将纤维素转换为乙醇,需要使用一种天然生物酶。如何大量生产这些生物酶,并使之在大型生物反应器中为我们工作,成了亟待解决的一大难题。现在已经发现了许多颇有应用前景的微生物,乙醇燃料是否切实可行,从长远来看,将取决于这些生物能否攻克这个难关。

美国生产的大部分乙醇,都被用作汽油的一类添加剂,它可以按1:9的比例与汽油混合使用,这是普通引擎能够使用这种混合燃油而不遭致损坏的最高比例。在有些地区,主要是在农业区,驾驶员能够购买到E85混合燃油,这种混合燃油含有85%的乙醇和15%的普通无铅汽油(unleaded regular gasoline),主要供专门设计的“柔性燃料”(flexible fuel)引擎使用。

对于普通引擎而言,乙醇与蒸馏酒中所含的酒精一样,会腐蚀掉引擎和燃油系统中的密封件。数百万辆汽车都装

备了这种引擎(不过许多车主都并不知情),然而E85销售点却只有几百个,而且目前这一燃油供应链的扩展速度也极为缓慢。

尽管如此,玉米乙醇仍然发展迅猛,部分原因在于,在美国华盛顿哥伦比亚特区,它拥有一支由农业州参议员和众议员组成的强有力的两党支持者队伍。此外,它还得到了一些非农业州地区人士的支持,这些人认为美国应减少对进口石油的依赖。由于玉米能年复一年栽种和收获,鼓吹者便认为乙醇是一种可再生燃料。美国可再生燃料协会还印发了一本装帧精美的宣传小册子,暗示每年消耗75亿加仑乙醇,就意味着少进口1.79亿桶外国石油。这一水平大约相当于美国15天的石油进口量——虽然不能“药到病除”,但至少开了一个好头。

然而,这只是玉米乙醇的表面风光而已,实际上它仍有不少问题。第一个问题在于,一标准桶(42加仑)乙醇只相当于大约28加仑汽油,因为一标准桶普通无铅汽油含有约11.9万英热单位(Btu,1英热单位约为1,055焦耳)能量,相比之下,一标准桶乙醇只含有8万英热单位能量。因此你给油箱加满E85混合燃油时,其实只相当于加了2/3油箱的汽油。即使一加仑乙醇的售价更为便宜,但要行驶一加仑汽油所能行驶的里程,你必须购买更多的乙醇。

第二个问题则在于,美国缺少生产乙醇所需要的某些资源。美国的玉米资源确实丰富,玉米地从苏福尔斯机场四周一直连绵延伸到远方。但制造乙醇需要耗费大量的天然气。燃油用乙醇的生产方法与酒用乙醇的制造方法基本相同。酵母(yeast)消耗掉糖分而释放出酒精和二氧化碳,所获得的产物经过蒸馏,让酒精蒸发,然后将酒精收集起来加以冷凝。各个生产环节都需要用天然气来加热。目前,生产一加仑乙醇(含有8万英热单位能量),需要大约3.6万英热单位的天然气。

20世纪90年代,美国国会力图通过一些法案,鼓励

从油井到车轮：燃油的生产制造过程

要将石油变汽油、玉米变乙醇，再将它们运到加油站，需要经过许多阶段。有些阶段为能量密集阶段，需要耗用大量化石燃料。

耗用的燃料

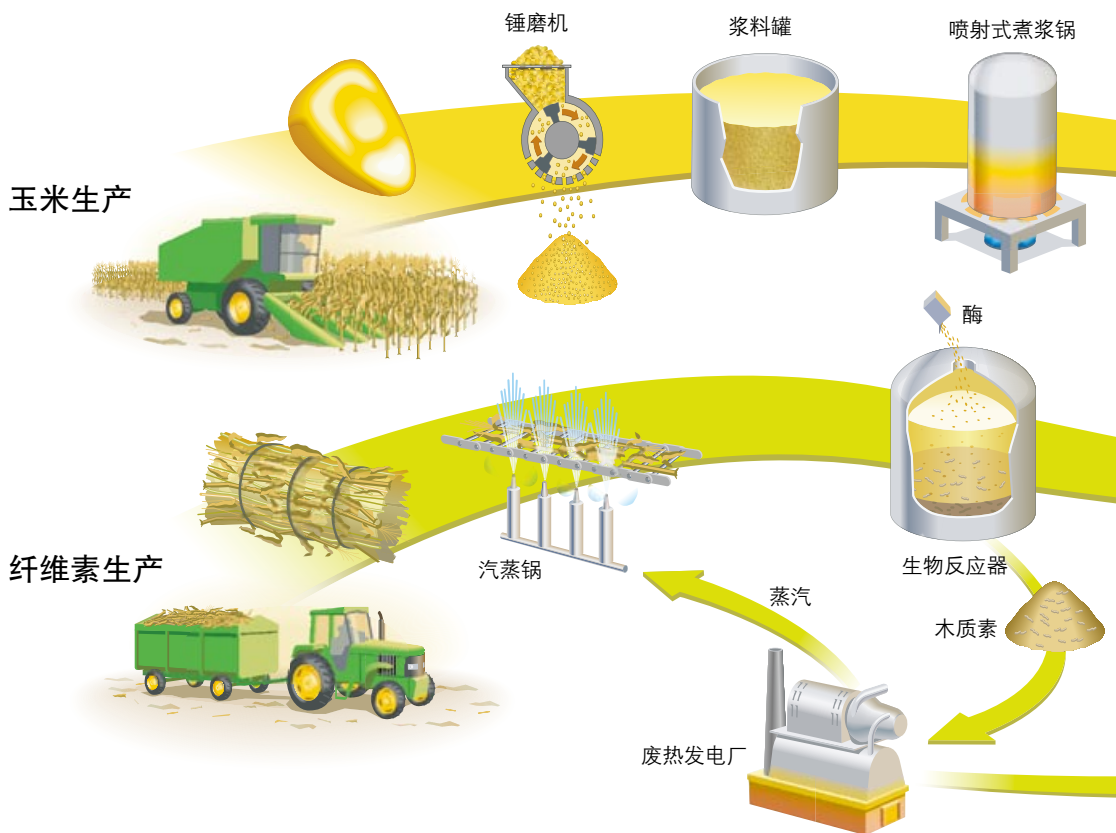
 柴油

 天然气



用玉米粒或玉米秆生产乙醇

玉米或纤维素转变成乙醇的初始阶段明显不同。玉米在进入发酵罐之前，要经过磨碎、煮浆和压榨3个阶段。纤维素则首先经过蒸烘，露出纤维，然后在生物反应器中由酶将纤维转变成糖分，一些公司仍在寻求开发大规模高效率的生物反应技术。纤维素转化后留下来的是木质素，木质素通过燃烧所产生的热量，可用于生产蒸汽和发电。这些原料通过蒸馏都会产生酒糟（stillage），这是一种有利用价值的副产品，可加工成牲畜饲料。



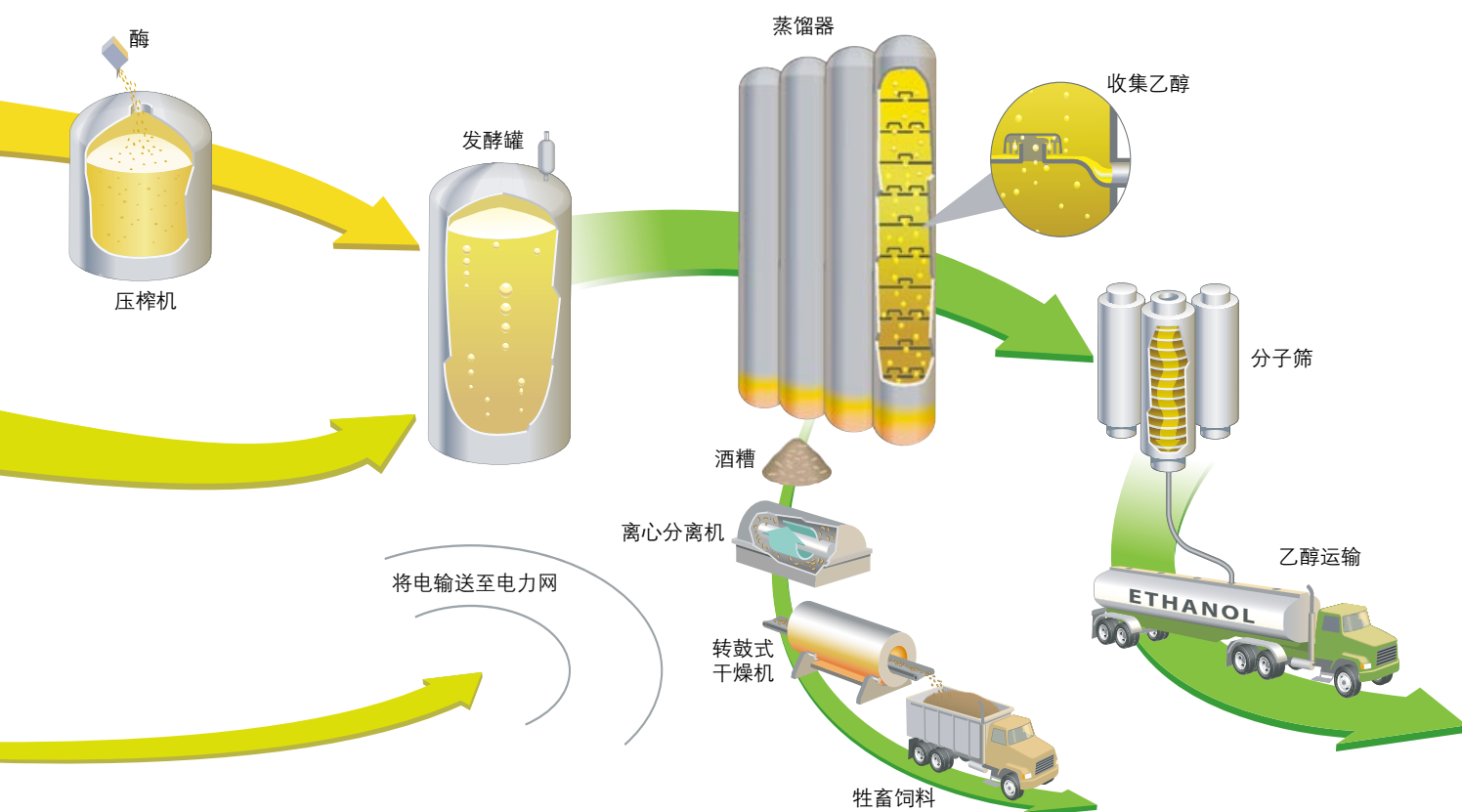
乙醇制造厂商生产更多乙醇，支持一些农业州的经济。当时天然气较为便宜，每百万英热单位的天然气平均价格约为3美元，而到2005年冬天，天然气价格已飙升至14美元。此外，高需求量必然会刺激天然气价格向上攀升。虽然乙醇支持者认为乙醇燃料是未来可持续能源的一个组成部分，但是耗费的大量天然气，却是不可再生的，甚至难以支持现在的需求。美国乙醇产量正在下降，加拿大乙醇产量也满足不了人们的消费需求。具有讽刺意味的是，为了制造“本土”乙醇，美国将不得不从北美洲以外的地区进口更多的天然气。

一些乙醇生产厂商正在用煤替代天然气，但这又有悖于人们对于清洁能源和可再生能源的定义。烧煤会释放大量的二氧化碳，这样一来，使用乙醇燃料的汽车对气候变化造成的影响，反而要比原来使用普通汽油的汽车严重得多。理论上讲，一家乙醇生产厂为了生产乙醇，可从电力公司购买电力来提供生产所需热量，但是对于许多美国电力公司来说，那样就可能意味着，要燃烧更多的煤和天然气来满足这一用电需求。

生产乙醇还需要一些其他形式的能源。乙醇不像汽油

或柴油那样可以用管道来输送，因为这类输送管道很容易进水，虽然水不会与汽油或柴油混合，但是却能与乙醇混合，一旦混合就会破坏乙醇的燃料热值。因此，为了将乙醇运往市场，就需要动用卡车，有时还需要长途运输，这就必须消耗柴油。此外，联合收割机收割玉米作物也要耗用柴油，而种植玉米所用的化肥，其生产过程也离不开天然气。

上述一些问题成了计算乙醇“净能量平衡”的关键因素。这一话题引起了人们激烈争论。2005年，美国康奈尔大学的农学教授戴维·皮门特尔（David Pimentel）宣称，制造一加仑乙醇所耗费的能量，超过了它燃烧时产生的能量。一些持相反意见的人则反驳说，皮门特尔几乎没有考虑乙醇副产品的价值，其中一些能够用作家畜饲料（可取代栽种部分用作饲料的玉米），而且他将一些与乙醇无关的能源成本也统统算到了乙醇头上，甚至包括了乙醇工厂工人的用餐成本。但是，这些分析家都一致认为，即使乙醇的净能量值为正，增益也十分微小。同一年，美国生物科学学会（American Institute of Biological Sciences，缩写为AIBS）的一份重要研究报告断定，用玉米生产的乙醇所能产生的能量，仅比生产玉米乙



醇所需的能量多出 10% 左右。与巴西用甘蔗生产乙醇高达 370% 的能量产出相比，这一数据显然微不足道。

据美国阿尔贡国家实验室运输研究中心的环境科学家王全录（Michael Wang）估算，考虑到所有的生产环节——玉米地施肥、玉米收割、将玉米淀粉浆蒸馏为酒精等等，每生产 100 万英热单位的乙醇，需要耗用 74 万英热单位的化石燃料。虽然乙醇一直被当作为农产品推广，但它基本上还是化石燃料的产物。

在减少温室气体方面，乙醇带来的好处更是微乎其微。在 2006 年 1 月出版的《科学》杂志上，美国加利福尼亚大学伯克利分校的能源与资源助理教授亚历山大·E·法雷尔（Alexander E. Farrell）撰文宣称，乙醇在减少温室气体方面的作用“难以确定”。在考察了各种研究报告之后，法雷尔及其合作撰稿人断定，在排放大气污染物方面，用天然气生产的乙醇比汽油产品要稍好一些，但是用煤生产乙醇却更糟糕。燃烧一加仑汽油释放大约 20 磅二氧化碳（1 磅约为 450 克），其中包括了来自汽车引擎和炼油厂的排放量。尽管乙醇的这一可比数据尚存争论，但到底是稍好一点还是更糟一些，主要取决于乙醇的生产过程。以限制二

氧化碳排放量为理由，鼓吹乙醇燃料的说法是靠不住的。

玉米乙醇——利益结果

玉米乙醇背后暗藏着玄机。为了自己的利益，来自农业地区的政治家们联手，大力推行玉米乙醇；一些生产能力不足的厂家更是巴不得往汽油添加乙醇，提高自己的产量。

令人遗憾的是，无论是在 2005 年制定《2012 年可再生燃料标准》时，还是在给予每加仑乙醇 51 美分税收减免的优惠政策时，玉米乙醇的净能量和污染方面的问题，可能都没有引起美国联邦政府足够的重视。一位在能源与污染问题上经验丰富的美国联邦政府官员说：“美国国会并未进行生命周期分析，却采用了 ADM 分析。”所谓

本文作者

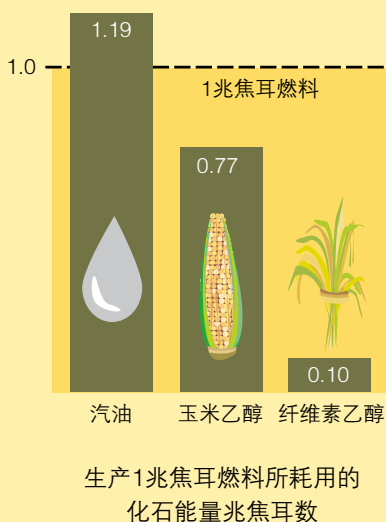
马修·L·沃尔德是《纽约时报》记者，自从 1979 年以来，他一直负责能源专题的采访和报导，内容涉及石油精炼、电力生产、电动和复合动力汽车以及大气污染。目前沃尔德常驻华盛顿哥伦比亚特区，他还跟踪报导交通运输安全和其他一些主题。本文是他在《科学美国人》上发表的第三篇文章。

用燃料制造燃料

考虑到从钻井或耕作到最后运输的各个阶段，生产汽油和生产乙醇的化石燃料（天然气、石油和煤）耗能量相差悬殊。图中数据均为平均值，来自美国加州理工学院的6份研究报告。



来自关岛的“热带皮肤病”（*Trichoderma reesei*，裸异壶菌属木霉真菌），有助于将纤维素分解成易于被蒸馏为乙醇的糖分。



ADM，指的就是阿彻·丹尼尔·米德兰（Archer Daniel Midland），多年来，这位美国农产品巨头一直是玉米乙醇政策背后的有力推动者。

对于那些制定能源政策的人来说，燃料使用周期分析似乎确实是一种新观点。分析人员第一次不是仅根据价格来评估低值英热单位转化为高值英热单位（例如将煤转化为电力，或将原油转变成汽油）的回报价值，而是开始从能量耗用量和污染物排放量的角度来看待问题。

然而，这类评估是否会影响政策则是另一回事。例如，众多提倡使用某些生物燃料（biofuel）、风能和太阳能的人，

已经建立了一个自称为“25×25”的保护团体。他们希望，到2025年，美国25%的能量来自于可再生能源。美国国会有几十位议员都支持这一团体，然而在2006年春天，在华盛顿特区专为介绍这一团体而举行的新闻发布会上，该团体的负责人本人都甚至无法说清楚，最大的能源到底是风能、太阳能、乙醇，还是直接燃烧的生物质能。他们提出的这种观点，在数学上根本不值一驳。

一些人对乙醇突然感兴趣，实际上是在一些限制汽油制造方法的政策努力失败之后，出现的非预期结果。20世纪80年代，美国一些州开始规定汽油含氧量，试图使汽车使用更清洁的燃料，但考虑却欠周全。作为对这种规定的回应，大多数炼油厂都往汽油里添加甲基叔丁基醚（methyl tertiary butyl ether，缩写为MTBE），而不是添加乙醇。几年后，一些检查人员发现，泄漏到泥土中的汽油，很容易将MTBE这种可能致癌的物质，渗透到当地的饮用水中。

在《2005年美国能源法》中，美国国会删去了鼓励MTBE的条款，一些炼油厂也因为种种潜在的弊端而放弃了这种添加剂。但是，炼油厂需要另外一种高辛烷值替代品，而且它们担心又会出现一些要求汽油含氧量的新规定，便纷纷选用了乙醇。美国炼油厂也刚好生产能力短缺，添加乙醇可以提高汽油产量，这样一来，就可以避免投入大量资金去新建炼油厂了。

走出困境——纤维素乙醇

利用纤维素来生产乙醇，不失为一种可选方案。纤维素不仅来源丰富，而且生产成本极低，有益于环保。但要实现纤维素乙醇的商业性规模生产，研究人员还得攻克一些生物技术难关。

另一个根本问题也困扰着当前的乙醇方案，那就是玉米产量。这种农作物目前处于生产过剩状态，但即便是这样，对于极度渴求燃油的美国，也只是杯水车薪。

2005年2月，皮门特尔在写给美国亚利桑那州参议员约翰·麦凯恩（John McCain）的一封信中指出，制造34亿加仑乙醇要耗掉美国大约14%的玉米作物。他指出，照这样的比例计算，美国的全部玉米作物也只可能为美国车辆提供7%的燃油。即便以某种方法大幅增加玉米作物的产量，美国农民也绝对无法生产出满足美国燃油所需的玉米数量。而且一些持反对意见的人认为，如果加速发展农业，增加的农作物产量也应该用于扩大出口规模，或提供给世界上缺少粮食的人们。

用纤维素生产乙醇不失为一种解决方案。纤维素是玉

米秆、谷类植物的禾秆和其他植物的杆茎的组成部分,这里所谓的其他植物,是指一般不被认为是农作物的植物,例如某些快速生长的禾本植物。纤维素的数量远远多于玉米粒;据美国农业部及有关部门介绍,美国各地的纤维素收获量巨大,能生产出够多的乙醇,可代替美国汽油耗用量的 1/3。

从纤维素的糖分提取出乙醇,既节约了玉米,又获得了能源,可谓一举两得。对玉米来说,纤维素本身被认为几乎是完全“免费的”——收割玉米秆只是稍稍增加了一点工作量,也不需要多用化肥。农场主认为,为了让土壤恢复活力,他们必须将一些玉米秆、玉米芯和玉米叶埋到土壤下,即便是这样,仍可获得大部分的玉米作物物料。柳枝稷(switchgrass)几乎无须施肥,是最适合用来制造乙醇的禾本植物之一。

此外,纤维素提取糖分后余下的材料,是一些还能燃烧的木质素(lignin)。位于加拿大安大略省渥太华的艾欧基公司(Iogen),引领着北美纤维素乙醇的研究方向。该公司预测,一家具有商业规模的乙醇工厂,燃烧这些余下的木质素所得到的能量,将提供足够多的余热来生成水蒸气用于发电。无须使用食用农作物来制造燃料,纤维素乙醇制造过程从农业废料开始,最后生产出两种适销产品:交通运输用燃油和电力。采用纤维素乙醇为燃料的汽车,二氧化碳净排放量几乎为零——如果用其附带生产的电力来取代燃煤或燃气电厂的话,它的二氧化碳净排放量甚至可能出现负值。木质素在燃烧时,的确会释放出二氧化碳,但是生长中的新生玉米或柳枝稷又会将这些气体消耗掉。一些持乐观态度的人(包括艾欧基公司的科研工作者)预计,这一制造方法经过改进后,还可使用价值越来越低的原料,例如将纸张所含的纤维素转变成乙醇。所谓纸张,也包括了你手中这本杂志所用纸张(当然要等你读完之后,才能被回收利用,制造乙醇)。

不过,这种方法仍然存在一些问题。问题的根本在于掌握一种自然分解纤维素的方法;在将糖分从这些木质素中释放出来之前,我们无法将固着于纤维中的糖分提取为乙醇。这项工作必须由细菌或真菌产生的一些酶来承担。这些细菌生活在一些难以接近的地方,例如偏远丛林的下层灌木丛中或白蚁的消化道内,它们比酵母更难于驯化。要诱使它们进入一个容量为 2,000 加仑的不锈钢罐,在陌生环境中生长繁殖,是相当棘手的。为了实现大规模工业化生产,还必须控制这些微生物的活性,让它们能在这样

一个空间内持续将糖分转化为乙醇。

一些公司已将其专利工艺制造方法投入实际应用,但是看起来还没有哪种方法能让投资者动心,尽管这些公司对它们的技术问题尚不清楚。在 2006 年 9 月美国众议院召开的一次专家讨论会上,一些公司还抱怨说,他们无法说服设计公司向银行保证已建成的工厂能正常运行。

某些可靠的微生物可以改善这种状况。艾欧基公司的工艺制造方法,就利用了一种从关岛采集来的真菌,该公司科学家把这种真菌戏称为“热带皮肤病”,并且已经改造了它们的 DNA,使它们能生产出更多的我们所需要的酶。另一些研究人员正在使用一些由蘑菇生产的酶。2006 年秋天,本田公司称可能找到了一种新虫子来承担这一任务。

如果一些公司能生产大量的酶,那么纤维素乙醇就能广泛取代汽油。



美国马萨诸塞州剑桥的 Agrivida 公司正在设法以生物工程方式来改造玉米,这种生物工程玉米所含有的一些酶,可使纤维素更快分解出乙醇。

尽管如此,2006 年 9 月,美国能源部长塞缪尔·博德曼(Samuel Bodman)在与记者的一次非正式谈话时仍表示,该技术在 5 年之内可投入商业运作。许多其他公司似乎还没有做好商业化生产的准备,但在一定程度上,政府出台的慷慨激励政策将吸引他们跃跃欲试。

现在看来,依靠玉米生产乙醇并非一种可持续战略:农业生产绝对无法提供足够数量的玉米作物,生产玉米乙醇也不能阻止全球气候变暖。从社会意义上讲,生产玉米乙醇还可能被认为是夺人盘中餐。一些支持者将玉米乙醇界定为向纤维素乙醇过渡的一座技术性桥梁,但目前看来,这座桥梁还不能通向光明的彼岸。SA

扩展阅读

Ethanol Fuels: Energy Balance, Economics, and Environmental Impacts Are Negative. David Pimentel in *Natural Resources Research*, vol. 12, No. 2, pages 127-134; June 2003.

Available at www.ethanol-gec.org/netenergy/neypimentel.pdf

Updated Energy and Greenhouse Gas Emissions: Results of Fuel Ethanol. Michael Wang in the 15th International Symposium on Alcohol Fuels, September 26-28, 2005.

Available at www.transportation.anl.gov/pdfs/TA/354.pdf

Plan B 2.0: Rescuing a Planet under Stress and a Civilization in Trouble. Expanded and updated edition. Lester R. Brown. W. W. Norton, 2006.

25x' 25 vision on renewable energy: www.25x25.org/

未来核能箭在弦上

撰文 约翰·M·多伊奇 (John M. Deutch)
欧内斯特·J·莫尼兹 (Ernest J. Moniz)
翻译 王颖



到2050年,全球电力消耗量将增长160%。不过,全球核电力若能在目前的基础上增加两倍,既能满足电力增长的需求,又能避免每年10亿到20亿吨的碳排放量、减缓全球气候变暖。实施这一方案,就需要新建数百座发电成本低于煤/天然气发电厂的经济型核电站,同时还须建立妥善处置核废料、防止核武器扩散的有效机制。



■各国政府和电力公司正在考虑下一波核电站的修建,以满足日益增长的电力需求

核电提供了全球1/6的电力,是除水力(提供的电力稍多于1/6)之外的主要“无碳”能源。核电站技术的成长遭受过挫折——1979年3月28日和1986年4月26日,美国三英里岛和乌克兰切尔诺贝利核电站相继发生事故,让公众至今记忆犹新,但是最近,一些核电站已经证明了自己显著的可靠性和高效率。全球的铀供应量非常丰富,足以满足现有反应堆在40~50年的使用寿命期间的全部核燃料需求。

由于人们对全球气候变暖忧心忡忡,调控温室气体排放量的可能性越来越大,美国和其他国家的政府和能源公司正在考虑修建一大批核电站,并且这种意愿越来越强,这也就不足为奇了。化石燃料替代品本身具有缺陷:在一个限制碳排放量的世界中,天然气具有相当大的吸引力,相对于其他化石燃料来说,天然气的碳含量较低,而且改进后的天然气电厂的资产成本也较低,但是电力成本对天然气价格极为敏感。近年来,天然气价格大幅度上涨,且变化无常,相比之下,煤的价格相对较低且较为稳定,不过煤却是碳密集度最高的电力源。如果要大规模发展煤电,并把进入大气层的碳排放量控制在允许范围内,就必须大规模验证和推广二氧化碳的捕集和封存技术,而这又将大幅度增加成本。由于这些问题,人们在考虑对天然气/煤发电厂进行新的投资时,变得犹豫不决。

所有这一切都意味着,核能有可能复苏。实际上,从2000年以来,全球有两万多兆瓦的核电一直处于联网运营中,其中大部分在远东地区。可是,尽管一些主要核电站经营者对核复苏兴趣盎然,但在美国却没有提交出一份有效订单。新建核电站的一些关键障碍,就在于资产成本高昂和核废料管理方面的不确定性。此外,全球的核电力扩容已引起人们担心,它可能无形中助长某些国家拥有核武器的野心。

概述 / 安全的未来核能

- ◆据预计,到2050年,全球电力消耗量将增加160%。
- ◆修建数百座核电站将有助于满足电力需求,而不会大幅度新增二氧化碳排放量。
- ◆经济上划算的新型核电站,加上一套核废料存放和防止核武器扩散的计划,才能保证实现这一方案。

2003年，我们联合主持了美国麻省理工学院的一个重要研究课题——“核能的未来”（The Future of Nuclear Power），分析了支持核能方案可能需要的条件。该项研究介绍了一个方案，根据这一方案，到2050年，全球核电力生产量可能在目前的基础上增加两倍，达到100万兆瓦，使全球减少每年8亿吨到18亿吨的碳排放量，具体数值取决于被核电站取代的发电厂到底是以天然气还是以煤来发电。在这种水平上，核电力将大大有助于稳定温室气体排放量——为了实现这个目标，到2050年为止，每年将需要削减70亿吨碳排放量。

燃料循环

在今后数十年内，核电力发电的趋势可能还是采用开式燃料循环为好、改进型第三代反应堆为妙。

如果要将核电力扩大到这样一种程度，应当建造何种类型的核电站呢？首先要考虑的问题就是燃料循环（fuel cycle），这种循环既可以是开式的，也可以是闭式的。开式燃料循环也被称为一次循环，在这种循环中，铀燃料在一个反应堆里只“燃烧”一次，烧过的燃料被移除下来，存放于地下仓库里。这些烧过的燃料中含有钚，可以用化学方法将它提取出来，并转化为燃料，供另一座核电站使用——这就是闭式燃料循环，不少人大力提倡这种循环（参见《环球科学》2006年1月号威廉·H·汉努姆、杰拉尔德·S·马什和乔治·S·斯坦福所著《巧用核废料》一文）。

使用闭式燃料循环：从烧过的燃料中分离出钚，接着重新燃烧一种由钚和氧化铀混合而成的燃料。在比较久远的未来，也许在所谓的快（中子反应）堆中会出现一种技术，即重新循环利用所有超铀元素（transuranic，在元素周期表上排在铀之后的所有元素，例如钚便是一种超铀元素）。采用这种方法，核废料中几乎所有可以造成长期辐射污染的成分都被分离出来，从而平息有关核废料的争论。然而，要实施这项方案，我们就必须克服技术难题，跨越经济难关，做大量的研发工作。

通过一种闭式循环，从废料中回收可用成分，加以重新利用——相信我们不假思索就会选择这种方案，因为输出同样多的总发电量所需的原料更少，并且，由于少量放射性物质必须贮存上万年之久，回收利用废料则可使长期存放废料这一问题得以缓解。尽管如此，我们还是相信，在今后数十年内，开式循环才是最好的选择。首先，再循环利用的燃料费用比最初的铀燃料更加昂贵；其次，即使

我们假设所有的核电站在运行寿命期间（每座核电站大约40～50年），全都采用一次燃料循环的方式，目前看来，地球上铀原料的储量，还能以合理的价格，保障全球核电力产量再增加两倍；再次，废料的回收处理和燃料的生产制造复杂而高度危险，它带来的近期环境风险将抵销长期废料存放所带来的环境利益；最后，在闭式燃料循环中，从废料中提取出来的钚，还有可能被转用于核武器制造。

在今后至少20年，或许在更长的时间里，继续处于主导地位的反应堆类型为轻水反应堆（light-water reactor），它使用普通的水（与重水不同，重水中含有氘）作为冷却剂（coolant）和慢化剂（moderator）。当今全世界运行中的大部分核电站都属于这种类型，这使得这种技术非常成熟，操作起来运用自如。

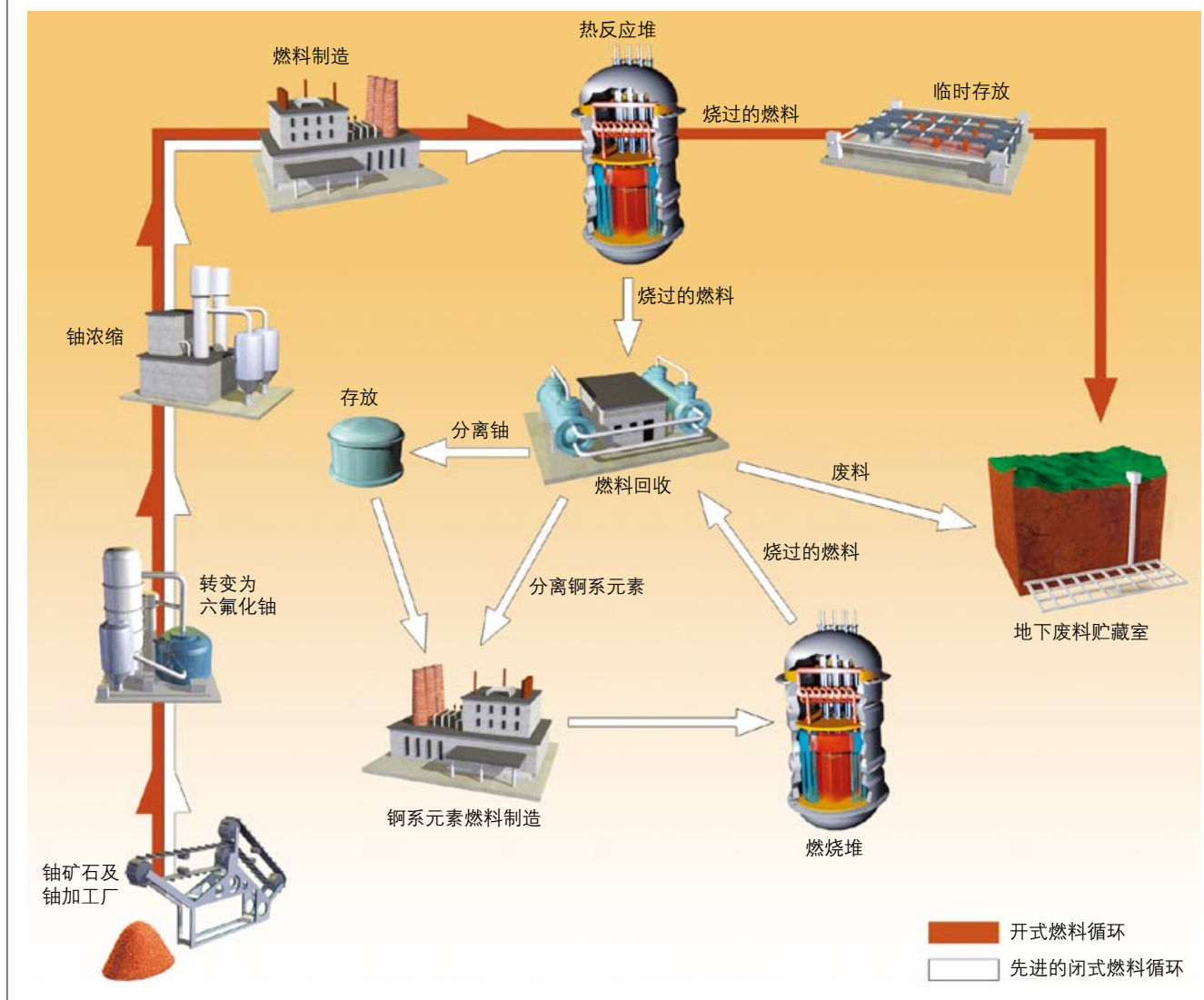
反应堆设计一般按代划分。最早一代为原型反应堆（prototype reactor），建于20世纪50年代到60年代初，它们常常属于同一种类型。第二代反应堆则是商用设计类型，大量修建于20世纪60年代末到90年代初。第三代反应堆在设计上有所改进，例如采用了更好的燃料技术和被动安全技术，一旦发生事故，反应堆无需操作人员干预就能自动关闭。1996年，第一台第三代反应堆在日本建成。后来的改进型第三代反应堆类似于第三代反应堆，但强化了它的优点。第四代反应堆目前正在研究之中，包括煤球炉式反应堆（pebble-bed reactor，球形燃料反应堆）和铅冷快（中子反应）堆等新类型（参见《科学美国人》2002年1月号詹姆斯·A·莱克、拉尔夫·G·贝内特和约翰·F·科蒂克所著《下一代核电站》一文）。不过，除了高温气体反应堆（煤球炉式反应堆就是一例）之外，第四代反应堆要等到数十年之后，才可能大量投入商业性使用。我们的方案只考虑到2050年，因此主要着眼于改进型第三代轻水反应堆。

煤球炉式反应堆展现了模块化核电站的前景，十分有趣。建造这种类型的反应堆，不用修建一个1,000兆瓦的大型核电站，只用建造一些每个可产生约100兆瓦电力的模块即可。在一些发展中国家和撤销核管制的工业国，这种方法可能特别具有吸引力，因为该方法涉及的资产成本要低得多。传统的大型核电站的确具有规模经济的优势，很可能使每千瓦电力成本变得更低，但是，如果核电站模块的大规模高效工业化生产可以实现，那么传统核电站的这种优势可能会受到挑战。南非计划，从2007年开始建造一座110兆瓦的煤球炉式示范核电站，预计将于2011年竣工，到2013年，可生产出大约165兆瓦的商用核电站模块。建造者希望能在全球——特别是在全非洲销售这种模块。

优选燃料循环

本文作者建议，在今后几十年里最好采用一种开式燃料循环：铀燃料一旦在热反应堆中燃烧之后，就将被存放于废料贮藏室（红色路线）。目前，一些国家采用一种闭式燃料循环：从烧过的燃料里提取出钚，并将钚与铀混合，再为热反应堆提供燃料（未示出）。在较为久远的未来，一种先进

的闭式循环（白色路线）可能会成为切实可行的首选方案。这种技术可对烧过的燃料加以处理，将其中的钚和其他元素（锕系元素），或许还有铀，进行回收，然后用于一些专门的燃烧堆，从而大大减少需要长期存放的废料数量。



降低成本

减少核电站建设费用，缩短建设工期，按照几种标准化设计来批量建造核电站，均有可能降低核电力成本。

目前，比起新建煤或天然气发电厂生产的电力来，一些新建核电站生产的电力价格更贵。2003年，麻省理工学院研究报告估计，新建的轻水反应堆电力生产成本为每千瓦时6.7美分。这个数字包括一个发电厂分摊在整个运行

寿命上的所有成本，还包括一些诸如合理投资回报之类的项目。相比而言，在同等条件下，我们估计，一个新建煤发电厂的电力生产成本为每千瓦时4.2美分。就一个新建天然气发电厂而言，成本对于天然气价格极其敏感，以目前较高的天然气价格（每百万英热单位约为7美元）而言，可能达到每千瓦时5.8美分。

过去有些人持过分乐观的态度，认为核电力可能“便宜得无法估计”，因此对核电力成本估算的正确程度表示怀疑。但麻省理工学院的分析并非建立在核工业界的承

诺之上，而是建立在过去的经验和现有核电站的实际经营业绩的基础上。有些人可能还会怀疑这类成本估算所固有的一些不确定因素。问题的重点在于，这些估算假定3种可选方案（核电、煤电和天然气发电）置于同一营运环境中，并且没有理由预期一些无法预计的费用（即“或有费用”）在这3种方案中产生的几率会有所有不同。此外，当一些公用事业单位在决定修建何种发电厂时，也将基于这样的估算来作出决定。

要将核电力方案的成本降至每千瓦小时 6.7 美分的基线下，可以采取几个步骤：将建设费用减少 25%，就可使每千瓦小时电力成本降至 5.5 美分；将一个电厂的建设时间从 5 年缩短到 4 年，并在运行和维护方面加以改进，则可使每千瓦小时电力成本再削减 0.4 美分。每个电厂的融资方式可能主要取决于控制电厂厂址的一些规定。将核电站的资产成本降至与天然气或煤炭发电厂同一水平，则可弥合与煤发电成本（每千瓦小时 4.2 美分）的差距。如果业界仅按几个标准化设计方案来大批量建造核电站，这些减少核电力成本的措施似乎都完全可行——只是这一点至今尚未得到证明。

如果给碳排放量标定价格，那么核电力在经济上显然会大受欢迎（见下页框图）。我们将把这一标价称为碳排放税（carbon tax），不过不一定需要采用收税的形式。欧洲有一种系统，让碳排放指标在公开市场上进行交易。2006 年初，指标销售价格达到了每吨碳排放 100 多美元（即每吨二氧化碳 27 美元），不过价格目前已下降了 50% 左右。仅对每吨碳征收 50 美元的排放税，便使煤炭发电厂的电力成本提高到每千瓦小时 5.4 美分。当税率达到每吨碳 200 美元时，煤发电成本将迅速上升到每千瓦小时 9 美分。天然气发电情况则要比煤电好得多，在每吨 200 美元的碳排放税下，发电成本仅增至每千瓦小时 7.9 美分。化石燃料发电厂可通过碳的捕集和封存技术，来避免这一假定的碳排放税，但在数额上，这一净化成本与碳排放税相差无几。

美国已经多年没有修建过一座核电站，因而敢于吃螃蟹的公司在建造最初几座新核电站时，将会遇到不小的困难：在新许可证的发放过程中必须承担附加风险，还将面

临一些额外开销（而随后的运营者则不必承担）。为了帮助克服这些困难，2005 年美国《能源政策法》补充了一些重要条款，例如对于新建的核电站，在最初 8 年的运营期间，给予每千瓦小时 1.8 美分的税收减免。这种税收减免有时被称为“率先行动者激励政策”（first-mover incentive），将对新建核电站投入联网运营的最初 6,000 兆瓦电力，提供政策优惠。有一些联合企业已经跃跃欲试，开始计划利用这些新的激励政策。

废料管理

地下处置法是贮存核废料的首选。启用核废料永久性贮藏设施之前，强化在反应堆所在地临时贮藏核废料的方案必不可少。

核电复兴所面临的第二大障碍，就是废料管理问题。迄今为止，世界上还没有一个国家装备了一种系统，能对烧过的燃料和核电站产生的其他放射性废料进行永久性处置。呼声最高的是地下处置法，即将废料存放于地下数百米深处。采用这种方法，在上万年的时间里，通过工程加固屏障（例如废料容器）和地质屏障（贮藏室挖掘地点的天然岩石构造和有利的水文地质盆地构造），可以防止这些废料泄漏。数十年来，科学家们的研究都支持这种地下处置方案，对于可能将放射性核素（radionuclide）从贮藏室泄漏到生物圈的过程和事件，他们已了如指掌。不过，尽管在技术上有了足够的信心，要审定和认可一个地下核废料处置地点，仍然困难重重。

一个最好的例证，就是在美国内华达州亚卡山建造核废料贮藏设施的提案。在长达 20 年的时间里，研究人员一直在对该地点进行研究。最近他们发现，该地点拥有的水比预先料想的多得多。美国核管理委员会（NRC）是否会批准这一提案，也仍是一个未知数。

在解决废料管理上的推迟延误（即使获得批准，在 2015 年之前亚卡山也不可能接纳废料），可能让建造新核电站的努力变得复杂起来。1998 年，美国政府通过立法，打算开始将烧过的燃料从反应堆所在地运往贮藏室。由于未能实现这一计划，在许多反应堆所在地必须存贮更多核废料，这在相邻地区引起了公众的担忧。

芬兰或许会成为修建高放射性核废料永久性存放场地的第一个国家。在芬兰奥尔基卢奥托岛——两个核反应堆的所在地，一个被称为 Onkalo 的地下研究设施的挖掘工作已经展开，该设施将在地下延伸约半公里。研究人员将对那里的岩石构造和地下水进行研究，并在真正的地下深层

本文作者

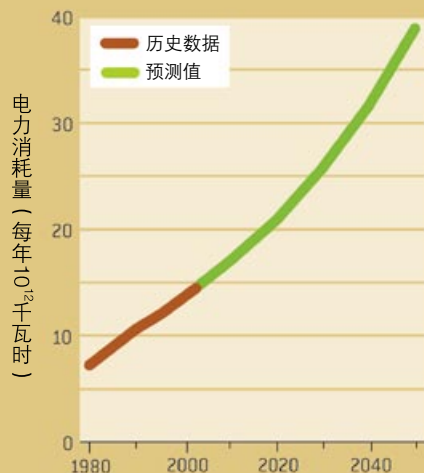
约翰·M·多伊奇和欧内斯特·J·莫尼兹均为美国麻省理工学院教授，他们共同主持了 2003 年麻省理工学院跨学科研究工作——“核能的未来”。他们均在美国政府中担任过要职：多伊奇曾任美国能源部能源研究局长和能源部副部长（1977–1980），后来担任美国国防部副部长（1994–1996）和美国中央情报局局长（1995–1997）；莫尼兹曾任美国科学技术政策局负责科学的副局长（1995–1997）和美国能源部副部长（1997–2001）。目前，他们共同主持着麻省理工学院一个项目，正在对煤的未来展开研究。

走向未来

在今后几十年里，全球电力需求量将大幅增加（见下图）。为了满足这一需求量，全球必须建造数千座新型发电厂。决定新建何种发电厂的关键之一，是估算成本（见右图）。如果核电站的经济效益无法与煤和天然气发电厂竞争，那么将不会大量修建核电站。麻省理工学院研究评估的一个方案表明，如果能让核电站具有竞争力，那么从2000年到2050年，全球核电产量可能会在目前的基础上增加两倍（见下图）。

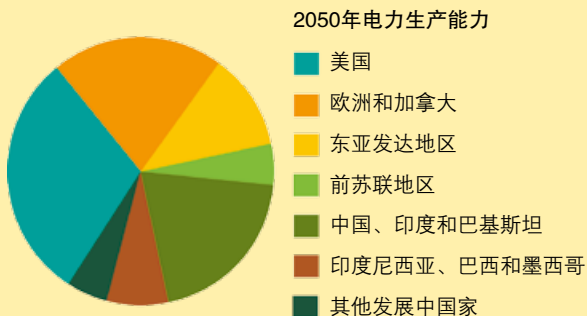
电力消耗量

据预计，到2050年，全球电力使用量将会增加160%。该预测（绿色）采用了联合国对于世界人口的估算数据，并假定发达国家人均电力消耗量每年增长约1%。发展中国家在追赶发达国家电力用量水平的同时，假定它们具有更高的电力需求增长速度。

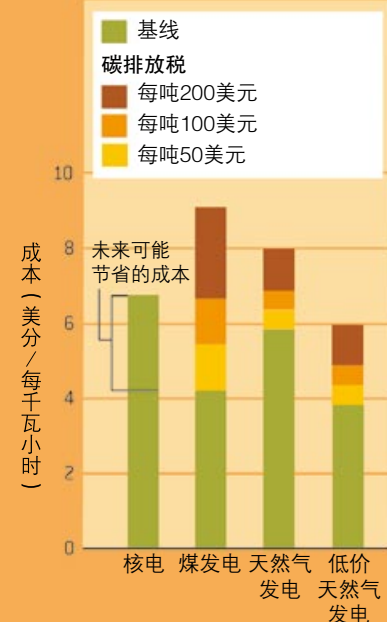


谁将拥有这些能源

麻省理工学院的研究方案预计，到2050年，美国将生产大约全球100万兆瓦核电力中的1/3，其余的发达国家将生产另外1/3的核电力。



承担费用



新建发电厂发电成本预测值，取决于许多因素。征收碳排放税可能会提高煤发电和天然气发电的成本。核电成本也许会通过未来可能出现的、但未经验证的成本削减步骤而得以降低。



正在建造中：芬兰奥尔基卢奥托岛的一座先进的（改进型第三代）1,600兆瓦核电站。

条件下对处置技术进行试验。如果一切按部就班，并获得必需的政府批准，那么在2020年就可望将第一批废料装运罐放置就位。到2130年，该贮藏室将竣工，进入通道将被充填密封。自从20世纪70年代末以来，为该设施提供的资金就一直被平摊到芬兰核电力的价格上。

在美国，为了解决废料管理问题，美国政府应明确规定，在全国各地的商用反应堆所在地存放烧过的燃料，集中到一个或多个联邦临时存放地点，直到永久性处置设施建好。废料可临时安全可靠地延期存放一段时间。这种延期暂存时间或许很长，甚至长达100年，这将是废料处置策略的

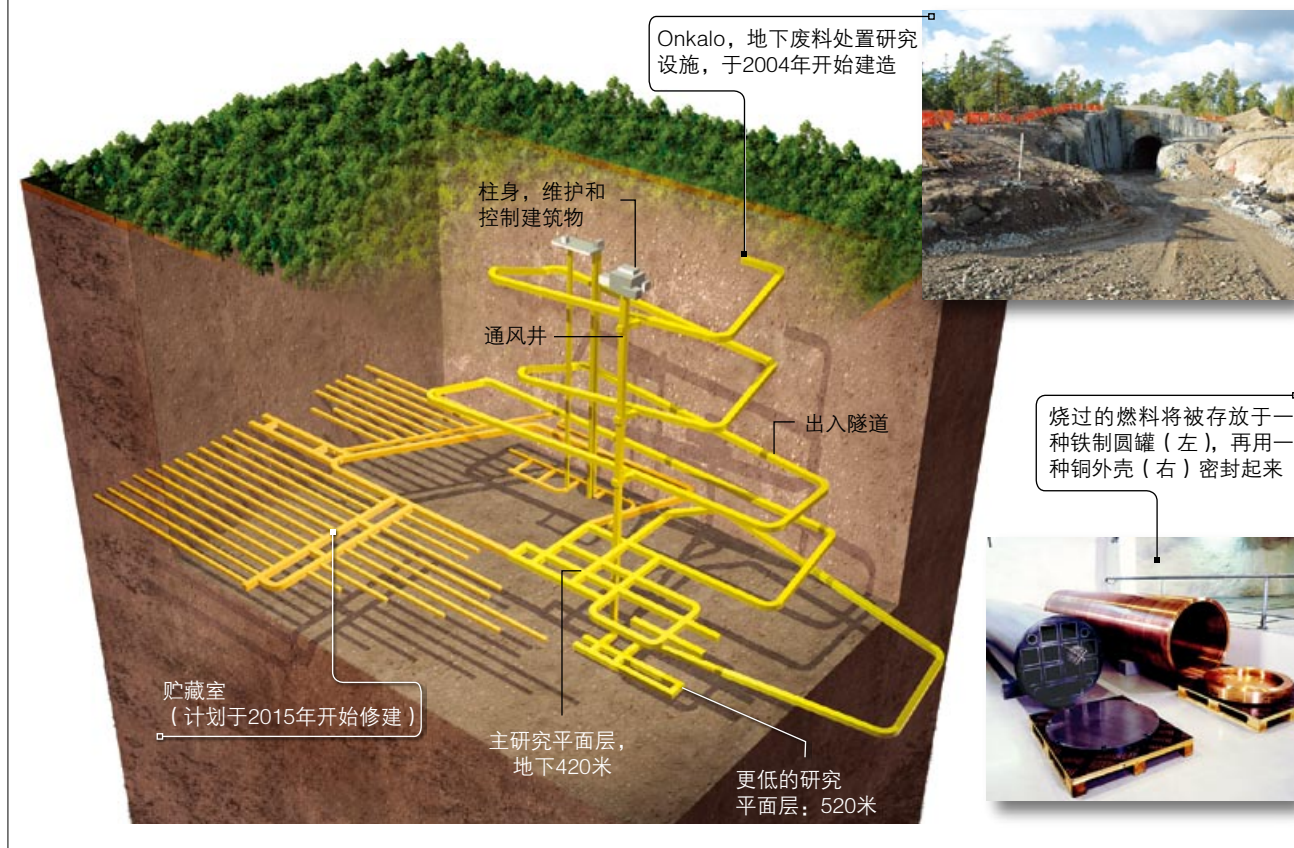
必要组成部分。这样做还有其他一些好处，包括减轻了美国政府和业界身上的压力，使他们不必马上去寻求一个草率的处置解决方案。

与此同时，美国能源部不应废弃亚卡山方案。相反，应重新评估该地点在各种条件下的适应性，并且根据需要修改该工程项目的时间表。如果全球核电力增加到100万兆瓦，那么在开式燃料循环中就会产生大量高放射性废料和烧过的燃料，每隔3年半就足以填满一个亚卡山大小的贮存设施。在民意方面，大量核废料的产生成了阻碍核电力扩展的重要因素，不过这是一个能够解决的问题，也是必须

核废料处置

芬兰正在推进一个计划，以调查研究奥尔基卢奥托岛的核废料地下处置可行性。根据该计划，烧过的燃料棒将以密封方式封存在一些大金属圆罐中，这些金属圆罐的内壳为铁制，以保证机械强度，而它的一层厚厚的外壳则为铜制，用

以抵抗腐蚀。这些金属圆罐将被放置在隧道底部凿出的洞孔中，周围用黏土填埋，以防止水直接流到金属圆罐上。该设施可能最快在2020年开始投入使用，接收芬兰的4座核反应堆所产生的废料。



加以解决的问题。

核扩散威胁

未来核电力将增加两倍，建立国际性核燃料供应国 / 消费国这一模式，可降低核扩散风险。

除刚刚描述的美国核废料管理规划之外，美国总统还应继续外交努力，建立一个核燃料供应国与消费国的国际系统。像美国、俄罗斯、法国和英国那样的供应国，应向核计划规模较小的消费国出售新燃料，并保证从消费国那里收回烧过的燃料。反过来，这些消费国应放弃建造核燃料生产设施。这一方案可大大缓解核武器扩散的危险，因为核扩散的主要风险并不牵涉到核电站本身，而是涉及核燃料浓缩和再生工厂。在一个核电力将增加两倍的世界里，一个将燃料租借给用户的方案是必然趋势，因为这样一种核电力增加，将不可避免地使核电站扩散到一些存在着核

扩散隐患的国家中去。

这种方案切实可行的一个关键因素在于，对于小型核电力计划来说，生产燃料没有经济意义。实际上，这个世界已经被划分为供应国和消费国——这一市场现实为上述说法提供了佐证。建立这种供应国 / 消费国模式，主要是通过一些强化商业现实的新协定，使当前的局面更长久地定型下来的问题，当然这并非易事。

上述提案对于消费国具有吸引力，因为这能使它们获得有保证的廉价燃料供应，而且还摆脱了废料处理的烦恼。不过，其他一些激励措施也应落实到位（例如，如果建立起一种碳排放指标的全球交易体系，那么只要消费国家遵守燃料租借规则，就可以因为其新建的核电站而得到碳排放指标），因为消费国可能会批准一些突破防止核武器扩散条约限制的规定。

目前，国际社会可能宁愿将一些国家视为“消费国”，也不愿让它们成为浓缩铀生产国。但是棘手的案例还不少。

中国已建和在建的主要核电站

核电站名称	所在位置	总装机容量	建设/商用时间	设计方
秦山核电站	浙江省海盐县	1台30万千瓦压水堆核电机组（第一代）	1985年3月/1994年4月	中国
大亚湾核电站	广东省深圳市	两台98.4万千瓦压水堆核电机组（第二代）	1987年8月/1994年5月	法国
秦山二期核电站	浙江省海盐县	两台65万千瓦压水堆核电机组（第二代）	1号机组1996年6月/2002年4月， 2号机组1997年3月/2004年5月	中国
秦山三期核电站	浙江省海盐县	两台CANDU 6型700兆瓦级 重水堆核电机组（第二代）	1998年6月/2003年7月	加拿大
田湾核电站	江苏省连云港市	两台106万千瓦AES-91型核电机组（第二代）	1号机组1999年10月/2006年5月， 2号机组1999年10月/2006年底	俄罗斯
岭澳核电站	广东省深圳市	两台99万千瓦压水堆核电机组（第二代）	1997年5月/2003年1月	法国
岭澳二期核电站	广东省深圳市	两台100万千瓦级“阿拉贝拉”核电机组（第二代）	1号机组2005年12月/2010年， 2号机组计于2005年12月/2011年	法国
三门核电站	浙江省台州市 三门县	6台100万千瓦级压水堆核电机组（第三代）， 分期建设	一期工程两台计于2007年开工， 2010年建成投产	国际招标
阳江核电站	广东省阳江市	6台100万千瓦级或更大容量的核电机组（第三代）， 分期建设	主体工程计于2007年开工，一期 工程两台机组于2010年建成投产	国际招标
红沿河核电站	辽宁省大连市 下辖瓦房店市	6台100万千瓦级核电机组（改进型第二代）， 分期建设	主体工程计于2007年9月开工，预计 一期工程两台将于2012年建成投产	中国

巴西就是一个正在迅速发展核计划的国家，据推测，那里正在建设一个铀浓缩设施，以便为该国的两座核反应堆提供燃料。在核扩散问题不再继续恶化的情况下，如果全球核电力想要继续增长，那么就必须对某些国家采取协调一致的措施。

尚未确定的未来

如果要在 2050 年实现全球一太瓦核电力的计划，就必须采取有效措施来降低核电站成本、强化核废料管理和防止核扩散。

一太瓦（即 100 万兆瓦）的“无碳”电力，是在本世纪中期大幅度削减预计的二氧化碳排放量所必须达到的规模。到 2050 年达到一太瓦核电力，任务肯定艰巨，需要每个月新增约 2,000 兆瓦核电力。在数十年间，投入其中的资本总额需要达到两万亿美元。并且，核电站成本的降低、核废料管理和防止核扩散的国际燃料循环制度，必须在今后大约 10 年内予以全面积极地解决。工业国家和诸如中国、印度和巴西之类的新兴经济大国，对化石燃料使用产生的二氧化碳排放量定价的高低程度，也将成为一个重要的决定因素。

核电力的经济性，并不是决定其未来使用前景的唯一

因素。公众对核电的认可，还取决于核安全和核废料等问题的解决情况，美国 and 许多欧洲国家的未来核电力也仍在讨论中。对于安全性问题，全力实施 NRC 规程必不可少，但违规的情况仍时有发生。

麻省理工学院的研究报告所提出的方案指出，如果全球打算实现一太瓦核电力，那么美国可能要将其核电力供应能力在目前的基础上提升两倍，达到约 30 万兆瓦。这样一个方案最终得以实施的可能性，将主要取决于未来的 10 年——取决于美国 2005 年《能源政策法》中“率先行动者激励政策”的实施力度，取决于美国政府将烧过的燃料迁出反应堆所在地的能力，还取决于美国是否会制定出大幅度限制二氧化碳排放量的政策。 

扩展阅读

The Future of Nuclear Power. Stephen Ansolabehere et al. Massachusetts Institute of Technology, 2003. <http://web.mit.edu/nuclearpower/>

Making the World Safe for Nuclear Energy. John Deutch, Arnold Kanter, Ernest Moniz and Daniel Poneman in *Survival*, Vol. 46, No. 4, pages 65 - 79; December 2004. www.iiiss.org/publications/survival

Generation IV Nuclear Energy Systems: <http://gen-iv.ne.doe.gov/>

Pebble Bed Modular Reactor: www.pbmr.co.za

Posiva home page (Onkalo waste management project): www.posiva.fi/englanti/

U.S. Nuclear Regulatory Commission: www.nrc.gov

“真假”草皮

撰文 马克·菲谢蒂 (Mark Fischetti)
翻译 詹浩

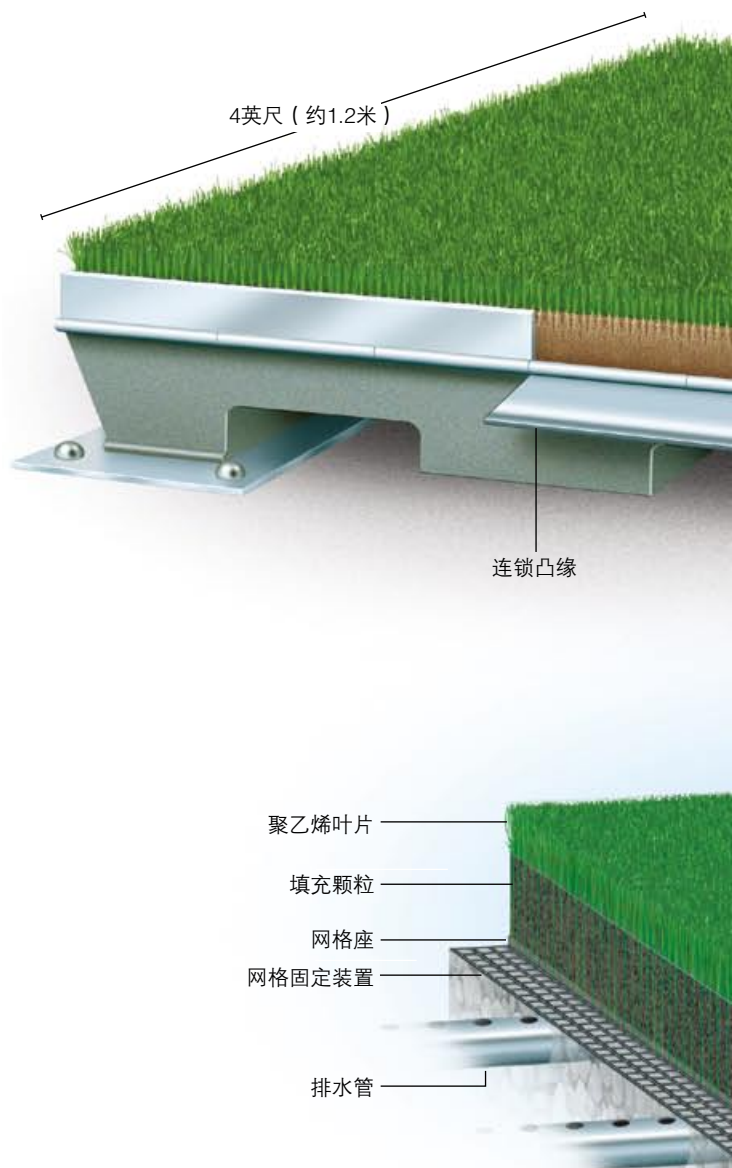
在体育场中，一场激烈的竞争在天然草皮与人造草皮之间悄然进行着。

运动员在比赛或训练时经常会损毁天然草皮，尤其在多雨、寒冷或干旱的季节里。为了解决这个问题，安装草皮的工作人员设计了一些底层结构，能迅速排放多余雨水、固定土壤，甚至还能泵入暖气，促进草根茁壮成长。20世纪60年代末，人造草皮“萌芽”了。美国休斯敦市阿斯特罗圆顶运动场（即“天文观测舱”体育馆）建成时，场内铺设的便是人造草皮，阿斯特罗草皮（AstroTurf）也因此得名。尽管运动员说这种草皮质地偏硬，一旦倒地就会有灼烧感，但在此后30多年间，阿斯特罗草皮一直是人造草皮的代名词。过去10年，一些公司开发出了新一代草皮产品，得到了广泛应用，以FieldTurf公司为例，其市场占有率已与阿斯特罗草皮旗鼓相当。这些新型人造草皮以更加柔软、更为均匀的质地而著称，因为在“草”的叶片之间，填充了橡胶颗粒或橡胶与砂子的混合材料。

关于哪种草皮更好的争论仍在继续。2006年夏天，美国普渡大学选用一种新型的百慕大人造草皮，重新铺设了学校的足球场。与天然草皮相比，这种草皮有更强的耐寒能力。该校运动场草皮管理人员阿尔·卡皮托斯（Al Capitos）承认：“这种新型人造草皮非常不错，不过还是无法与天然草皮媲美。”体育场管理人员承认，大多数运动员都喜欢天然草皮——如果草皮的状态保持良好的话。但是干旱会使天然草皮变硬，雨水又会使它变成“溜冰场”或凹凸不平的“菜地”。水牛城比尔队是美国纽约州奥查德帕克市（Orchard Park）的一支橄榄球队，球队体育场的营运负责人乔·弗兰迪纳（Joe Frandina）说，在美国北方的一些州，“每到9月份，青草停止生长之后，运动场很容易变成一块‘泥田’，根本无法使用”。多年来，因为大雪屡屡“光顾”，该体育场只能依赖人造草皮。

要铺设草皮，钱也是个大问题。为一个球场铺设人造草皮的平均成本高达50万到80万美元，甚至更多；铺设天然草皮大概只需要花费25万到50万美元。但天然草皮还需要施肥、喷水和修剪，这些都会增加成本。决定最终选择的因素可能是个人喜好。2002年，美国密歇根州立大学购买了佐治亚州罗斯韦尔绿色技术公司的连锁天然草皮

模块，替换了此前使用的人造草皮。绿色技术公司创始人克里斯·斯科特（Chris Scott）说：“密歇根州立大学作出了明智的选择……天然草皮看起来相当不错。”去年，当比尔队的体育场更换人造草皮时，弗兰迪纳选择了另一家供应商，因为他们的产品“踩起来脚感更好一些”。**SA**



人造草皮由聚乙烯丝带制成，固定在塑料底盘上，再置于碎石基底之上。橡胶颗粒或橡胶和砂的混合物填充在叶片之间，让叶片保持直立状态。基底既能固定叶片，又便于排放雨水。

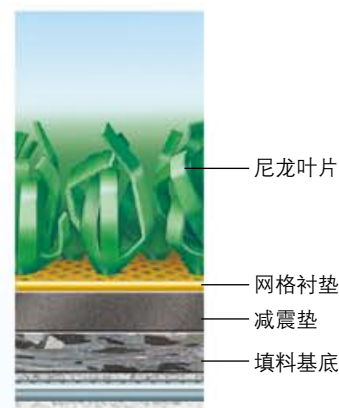
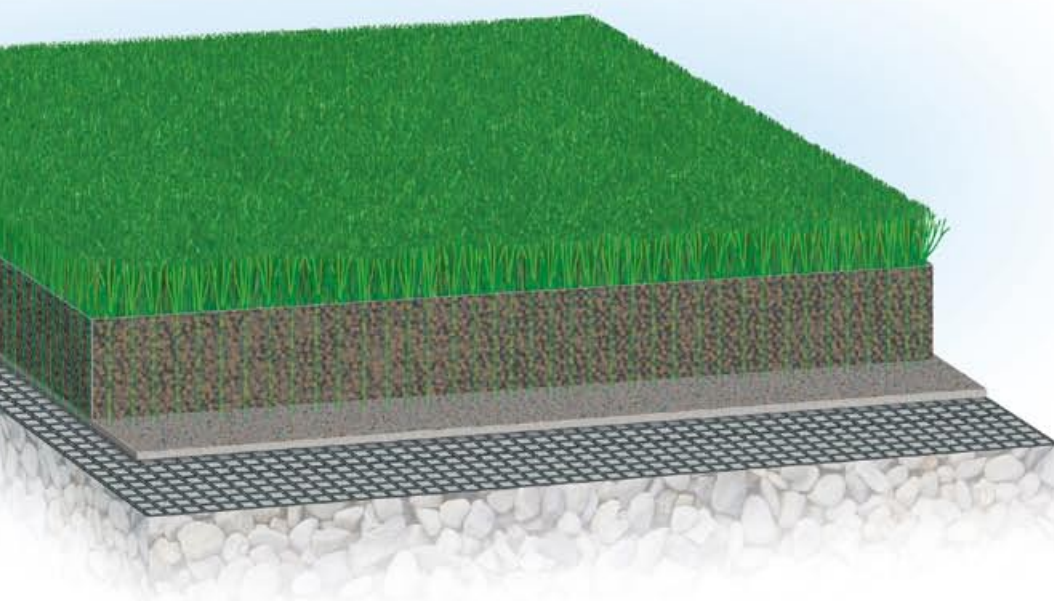
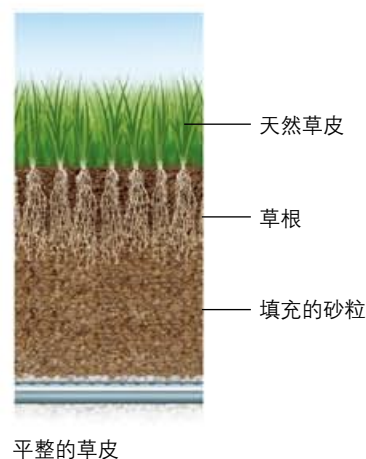
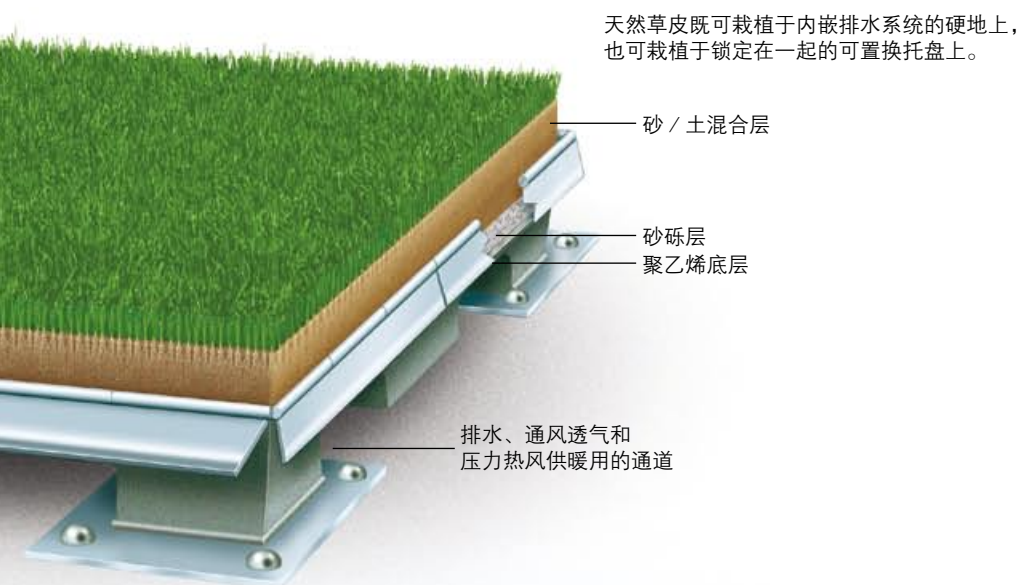
你知道吗？

◆ **磨碎轮胎**：制造橡胶颗粒的材料主要是一些旧轮胎，在低温情况下，室温橡胶会被冻硬，因此可以被磨成砂粒大小的颗粒；一些生产厂商声称，在这种条件下生产出的橡胶微粒呈均一的圆球形状，因而填充得更致密、更为稳固。

◆ **可伸缩式草皮**：2006年8月，美国菲尼克斯大学启用了新的体育场（也是亚利桑那红雀橄榄球队的主场），这是美国第一个可伸缩的草皮球场。这块球场模仿了欧洲几个球场的设计，草皮置于一块单独的托盘之上，宽234英尺（约71.3米），长403英尺（约123米）；托盘则被安置在下方混凝土底座上的钢轨上。在比赛期间，这个1,700万磅（约7,700吨）重的宽大托盘将平移到场地中间，在其余

时间则平移到体育场外的停车场顶层，让草皮休养生息，体育场也可以空出来，举行集会、音乐会和竞技表演。球场上方的半透明纤维顶盖也能收缩进去。2007年1月，这个体育场承办了美国大学生橄榄球联赛总决赛。

◆ **受伤和生病**：以前，很多人认为人造草皮很容易让运动员受伤。不过水牛城比尔队的运动教练（其中有一位是本文作者的兄弟）说，在新型的人造草皮上，运动员受伤的情况并不多见。较之天然草皮，新型人造草皮造成腿脚皮外伤的可能性更大，不过整体来看，运动员们也没怎么受伤。



未填实的人造地面下面，是一些缝合进网格衬垫上的尼龙纤维，而网格衬垫固定在一个减震垫上。这个减震垫被紧紧地固定在一块由橡胶、聚氨酯和矿物材料组成的填料基底上。

废纸重生

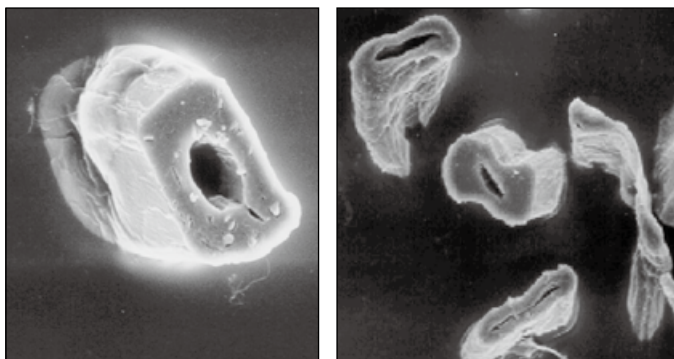
撰文 马克·菲谢蒂 (Mark Fischetti)
翻译 徐谷子

根据相关统计,在人们的共同努力下,目前世界废纸的回收利用率已超过了 50%,大批废纸加工厂如雨后春笋般拔地而起。但纤维本身固有的缺陷,决定了废纸的可回收次数,因而木材造纸还是无法避免。

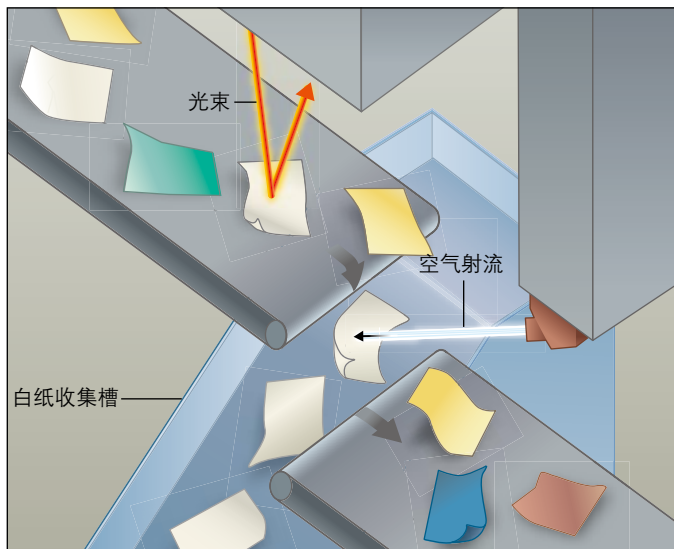
原始纸浆富含水分,在制成纸张时,大量的氢键会将纤维牢牢地结合在一起。但在废纸再加工厂,纤维每经过一次除杂、除墨和干燥,“只有 80% 的氢键能保留下来,”美国佐治亚理工学院化学与生物分子工程学副教授邓玉林 (Yulin Deng, 音译) 解释道。他说,经过四五次回收利用之后,“纤维就无法再牢固地结合在一起”,废纸就成为名副其实的“废纸”。

对此,工程师们无计可施,几乎找不到一种经济可行的办法,来突破这一物理极限。于是,降低可用纤维的再处理成本,就成了他们新的工作重点。在邮票、标签、信封封口、胶带、书脊以及其他废纸上面,都有一些乱七八糟的黏合剂,如何更好地清除黏合剂成了一大难题。这些黏性物质具有高度可塑性,很容易从专门设计的筛网中漏过,造成机器堵塞,因此必须通过一个费时耗能的“细筛”工序才能将它清除。邓教授说,近 10 年来,造纸业界一直在寻找一种能分解黏合剂的化学方法,“但是这个问题至今仍未彻底解决”。另一个尚待解决的问题是,如何在废纸处理过程中,减少用水量,降低水污染程度,因为这些被污染的水也得经过净化和重新利用。

更有效地将废纸分类储存,也是降低成本的好方法,而且还可以进一步提高再生纸张的需求,节省垃圾掩埋空间。虽然一些政府要求人们对废纸分类(如纸板和新闻用纸),但到达废纸收集中心时,废纸大多都是混在一起的。大约 95% 的废纸都要靠手工分类,成本极高。直到最近,设备制造商才开始推出自动分检机,而能够提高机器性能传感器还处于研发阶段。美国北卡罗来纳州立大学林业与纸业科学副教授理查德·A·文迪蒂 (Richard A. Venditti) 说,更精良的设备不但能降低各种成本,而且还能将更加均匀的废纸纸浆送进再处理生产线,这样“就能降低化学制剂的使用量,节约更多的水和能源。”



木材纤维, 或称纤维素 (左上图), 含有大量的水分子, 因此在被压制成纸张时, 相邻纤维之间就会形成氢键, 牢固地结合在一起。每一次回收利用, 纤维都会遭到一定程度的破坏, 丧失一些水分。几次之后, 纤维就会严重变形, 丧失韧性, 没有足够的表面区域供氢键附着 (右上图)。最终, 纤维彻底变为垃圾 (所有照片显示的都是纤维素的切片, 完整的纤维素是很长的)。



自动分检机, 新式自动分检机采用斜坡和旋转圆盘, 将传送带上的废纸一一摊开 (图中未画出)。可见光束和近红外光束根据废纸颜色和光泽, 对每张废纸加以识别, 然后空气射流会将识别出的废纸送入恰当的收集槽内。

你知道吗？

◆**降低成本**：要获得更高等级的回收纸浆，就需要更多的再处理工序，加工成本也会相应提高，甚至超过木材造纸的成本。美国北卡罗来纳州立大学的理查德·A·文迪蒂说，通常用于谷物包装袋和鞋盒的纸板，利用回收纸张制作要比采用新纤维便宜得多。回收纸张制作的瓦楞纸箱（具有较高的强度、韧性，可以减缓冲击，更好地保护箱内物品）和新闻用纸，成本也比新纸更低一些。不过，用回收纸张来制作办公用纸就省不了什么钱了。

◆**居民习惯**：据美国林业及纸业协会（American Forest and Paper Association）称，约有86%的美国居民都可以方便地找到简易废纸回收点或集中式废纸回收站。公众参与废纸回收的程度已经很

高，但仍有潜力可挖。学校参与回收废纸的热情不高，企业单位则更低。回收更多的废纸能增加废纸回收人员的收入，因为像中国这样处于快速发展中的国家，希望购买更多的废纸作为廉价的造纸原料。

◆**识别分类**：第一代自动分检机上的传感器，主要识别传送带上废纸的颜色，便于分检机对废纸进行分类，如将褐色纸袋和复印用纸分开。一些公司（如田纳西州纳什维尔的MSS公司）和美国能源部资助的一些大学研究项目，正在完善其他一些传感器，这些传感器能识别黑白办公用纸、新闻用纸，还能识别消费品包装用纸光泽上的差异。

回收利用 废纸回收利用采用什么工序，取决于我们希望得到什么样的产品。通过制浆、过筛和除杂工序可以生产出低等级的纸板。生产均匀雪白的办公用纸还需要浮选和漂白工序。由于废纸的质量千差万别，某些工序可能还会在不同的加工阶段多次采用。

1 制浆：废纸先经过浸泡，再用旋转刀片粉碎成由纤维构成的纸浆。

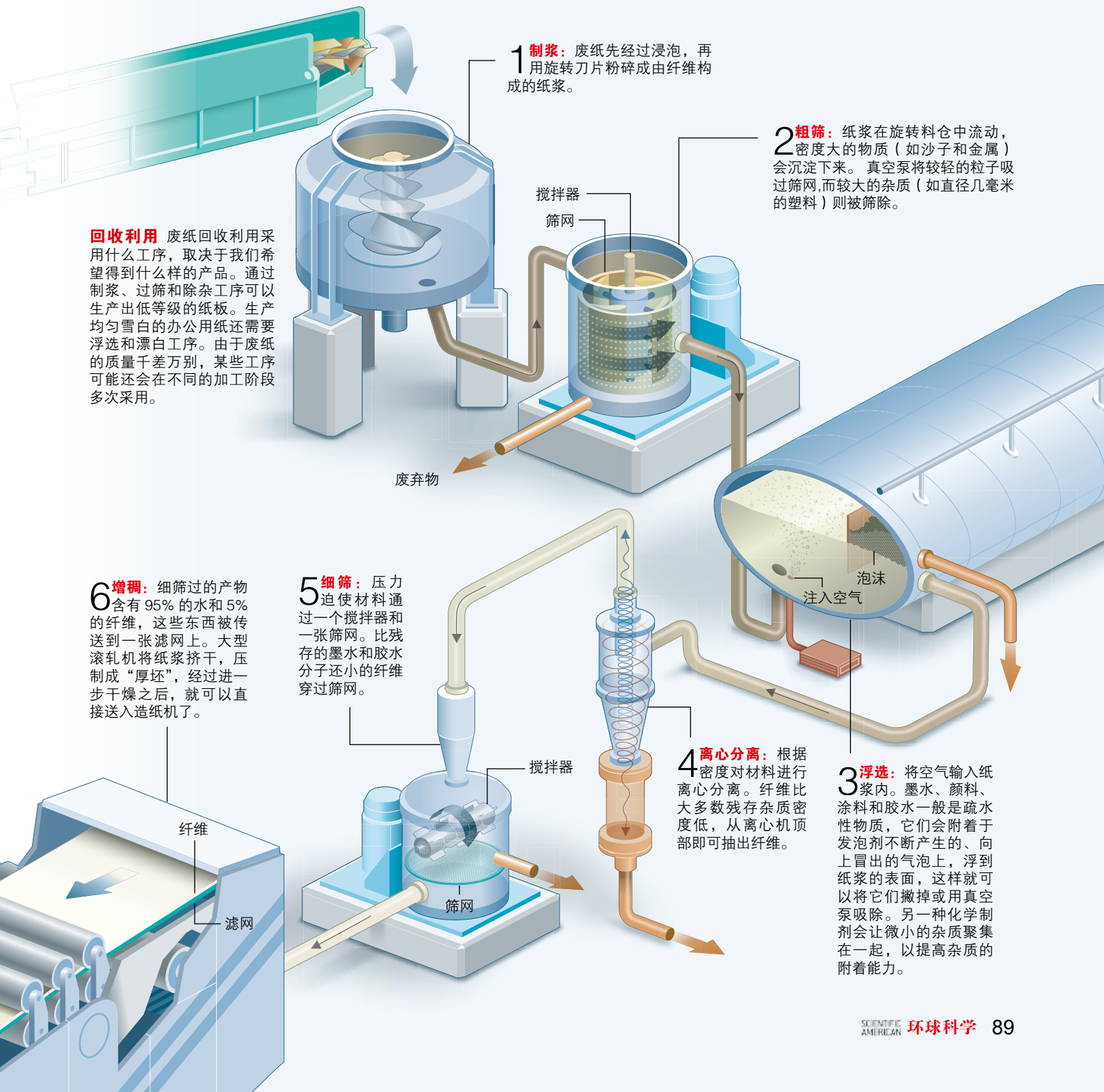
2 粗筛：纸浆在旋转料仓中流动，密度大的物质（如沙子和金属）会沉淀下来。真空泵将较轻的粒子吸过筛网，而较大的杂质（如直径几毫米的塑料）则被筛除。

5 细筛：压力迫使材料通过一个搅拌器和一张筛网。比残存的墨水和胶水分子还小的纤维穿过筛网。

4 离心分离：根据密度对材料进行离心分离。纤维比大多数残存杂质密度低，从离心机顶部即可抽出纤维。

3 浮选：将空气输入纸浆内。墨水、颜料、涂料和胶水一般是疏水性物质，它们会附着于发泡剂不断产生的、向上冒出的气泡上，浮到纸浆的表面，这样就可以将它们撇掉或用真空泵吸除。另一种化学制剂会让微小的杂质聚集在一起，以提高杂质的附着能力。

6 增稠：细筛过的产物含有95%的水和5%的纤维，这些东西被传送到一张滤网上。大型滚轧机将纸浆挤干，压制“厚坯”，经过进一步干燥之后，就可以直接送入造纸机了。





“第一信条：不要自欺欺人——否则，你就是最容易上当的人。”

——理查德·费曼，美国加州理工学院物理学家，诺贝尔奖获得者

吹牛皮的抗感冒维生素

撰文 迈克尔·舍默 (Michael Shemer)

翻译 徐蔚

最近，在一本新书的巡回宣传中，我触犯了费曼的第一信条。我每天奔波于喧嚣的机场、拥挤的机舱和熙熙攘攘的书店之间，被无数打着喷嚏、咳嗽不止、受到细菌感染的公众包围。一天，在拥挤得有如沙丁鱼罐头般的长途汽车上，站在我身后的一位仁兄满足了自己肺部细菌向前挺进、不断增殖的要求，以喷嚏的方式将它们释放出来。这时，我只能责备自己居然忘了带上一片Airborne——由草药、抗氧化剂、电解质和氨基酸制成的桔子口味的泡腾片。

在愤怒的驱使

下，我那逻辑严密的大脑对药效的迷信终于战胜了理智上的怀疑。直到后来，我在加利福尼亚州的门洛帕克，见到了邀请我去宣传新书的东道主戴维·考恩 (David Cowan)，我才冷静下来重新考虑 Airborne 的问题。这位网络风险投资者、科学博客写手在谈话中提起，他已经在自己的博客 (<http://whohastimeforthis.blogspot.com>) 上向 Airborne 宣战。作为一名具有科学头脑的投资者，考恩很快就发现 Airborne 的行销策略非常狡猾：宣传中从未明确表示过，Airborne 具有预防或治疗感冒的功效，却在说明书中建议消费者“在感冒症状刚开始出现，或在进入拥挤环境之前服用”；“如有必要，每3小时服用1次”。不过，说明书上还用纤细（真的很纤细）的字体印着：“上述建议尚未通过美国食品与药品管理局的认证。本产品对诊断、治疗或者预防任何疾病无特殊功效。”

“研发” Airborne 的制药公司更是离谱。通常情况下，绝大多数药品都由大型制药公司研发，这些公司拥有众多专业科学家组成的研究团队，即使如此，

这些企业对感冒特效药的研发仍然束手无策。Airborne 的研制者却是“奈特—麦克道尔实验室”，由维多利亚·奈特—麦克道尔（一位小学老师）和她的丈夫瑞德·麦克道尔（一位编剧）共同创立。他们从不掩饰自己缺乏专业资格的事实，反而在 Airborne 网站 (www.airbornehealth.com) 上大肆宣扬：本

在进入病菌肆虐的场所之前，在刚开始打喷嚏的时候，吃点维生素片，就能把感冒拒之门外？怀疑论者也差点上了当。这种在美国行销上亿美元，国内媒体也曾报道过的小小药片，其实只是一场闹剧。

品系二年级老师荣誉出品！“这是一种艺术家式的自信，”考恩在博客中解释道：“将并不讨好的事实公之于众，反而会得到受众的信任。”对奈特—麦克道尔实验室来说，年销售量上亿美元就是他们所需的全部数据。

为了证实药品的科学疗效，Airborne 网站原本提供了一个名为“临床效果”的链接（现在已经找不到了）。当考恩写信给公司索取相关信息时，他得到了这样的回复：“2003年的试验只是当时身为一个小型公司所做的小规模研究。尽管这项研究得出的效果相当好，但我们认为，那种研究方法（试验方案）已经不适用于产品的现有用途。因此，我们现已停止发布这些内容。”公司的执行总裁埃莉斯·多纳休 (Elise Donahue) 则在 ABC 新闻频道上回答道：“由于消费者的科学认知尚未达到能够理解临床效果的水平，这些信息反而会给他们造成困扰。”

ABC 新闻频道对 Airborne 的临床试验进行了深入调查，结果发现这项试验是由 GNG 制药服务公司提供，“这个机构专为 Airborne 药品研究而成立，

只有两名成员。没有门诊、没有研究员，甚至没有医生。试验员坚称自己具有丰富的临床试验经验，还拥有美国印第安那大学的学历，不过按校方的说法，他并没有毕业”。

从药物成分上看，Airborne 的配方的确比较唬人（尤其是那股刺激的味道，让人觉得这药很有效）。我就

此咨询了现已退休的美国空军飞行外科医生、家庭医生哈丽雅特·霍尔 (Harriet Hall)，她正在研究替代医学。霍尔在天然药物数据库中查阅了

Airborne 药片的成分，没有找到任何证据支持配方成分可以预防感冒的观点。不仅如此，Airborne 中维生素 A 的剂量还严重超标：维生素 A 的日使用剂量超过 10,000 单位就会危及健康，但 Airborne 的每粒药片包含 5,000 单位的维生素 A，而且日推荐用量在 5 片以上。配方中惟一有效的成分是维生素 C，有证据显示，在一部分患者身上，服用大剂量的维生素 C 可以将感冒症状的持续时间缩短 1 天到 1 天半。不过大剂量服用也会带来副作用。“众多证据指出，鸡汤都比 Airborne 管用，”霍尔这样对我说道：“在 Airborne 的效用得到可靠的双盲研究证据支持之前，我宁愿坚持洗手。”

Airborne 不过是旅行者的心灵鸡汤，心理安慰罢了。SA

环球科学小词典

替代医学 (alternative medicine)：或称替代疗法，是由西方国家划定的常规西医治疗以外的补充疗法。按照西方的习惯，替代医学包括了冥想疗法、催眠疗法、顺势疗法、按摩疗法、香味疗法等，传统的草药和针灸也归在其中，另外，还包括本文中提到的维生素疗法。



又甜又脏的科学

撰文 史蒂夫·米尔斯基 (Steve Mirsky)
翻译 姬十三

是什么让树液流动起来？因为“他”或“她”想去美国国会任职！的确，在刚刚结束了11月美国国会选举后的这个秋日，首先跃入我脑海中的就是这个答案。稍后，我们会回到关于选举的话题。不过，一个更好的答案解释了先前这个问题——与枫糖浆有关。当我刚从美国佛蒙特州昂德希尔基地中心的枫树监督研究中心旅行归来，前往伯灵顿参加美国环境新闻记者协会年会时，还在思索着这个主题。

事实证明，令树液流动的原因是非常复杂的。实际上，它太复杂了，也许只有让研究这一问题的科学家们为《科学美国人》写篇特稿，我才能真正理解。

然而，问题的关键在于糖枫拥有不同寻常的特性，可以在经历冰冻和解冻后产生正向内压。这种压力可以超过汽车轮胎的内压，接近每平方英寸40磅（约为每平方厘米2.8千克）。为了抽取树液，枫糖浆的制造者往往要截去枫树的顶端——那些树枝正是最终给你带来烤松饼上可口糖浆的地方。

大多数树木的纤维充满水分，而糖枫的纤维则充满空气。“所以，”顶级的树液抽取研究员蒂莫西·威尔莫特解释道，“情况并不像你设想的那样——水结冰时会发生膨胀，因此结冻时某些物质会从抽取树液的孔中流出来。由于

枫木的生理机能，水实际上是在冰冻期被枫树吸收，在解冻期被挤出树孔的。”

要让树液流动起来需要一系列的冷冻和解冻（我们这里所谈的仍是枫树），所以整个行业依赖于一个在稍低和稍高于冰点的狭小范围内震荡的气温。在美国东北部，人们的忧虑逐渐加剧，全球

烟雾报警器，为的是避免在我做烤松饼时，它频频带来的“听力损害”。

既然说起烟雾缭绕的房间，那就回到选举的话题吧。（“smoke-filled”在英文中常被用来描述政治家的竞选活动，因而有此转承。）在投票前一周，一段轶闻在坊间流传：许多政客，包括一些

保守派政客，在会见和问候成百上千的陌生人时，都会先用大量糖浆一般的消毒洗手液洗手。这似乎是个无伤大雅的好主意，而且是少数同时被美国总统乔治·沃克·布什和前副总统阿尔·戈尔所公开认同的行为之一。

但据纽约时报刊载，新墨西哥州州长比尔·理查森说，他觉得这是瞧不起选民的表现，“我不担心我的手会弄脏”。那么，请看以下两个数据：其一，理查森保持着最频繁握手的世界纪录——2002年某天，他在处理州内事务及在新墨西哥大学校园访问时，8小时内共握手13,392次；其二，2005年美国微生物学协会对6,000多位受访者所作的研究发现，有18%的人在使用公厕后没有洗手。因此，除非新墨西哥人“非同寻常”的干净，或者集会场所没有卫生间，否则理查森很可能和2,400位上完厕所没洗手的选民握了手，同时他也很可能将他们的细菌传播给了其他洗过手的大众。这又是一个甜蜜而肮脏的故事。

美国东北的枫糖浆和西南政客的脏手



持续变暖将使上述气温范围高于冰点，并造成糖枫树的种植范围逐步北移。的确，在佛蒙特州，制糖的季节已经开始缩短，而加拿大则尚未有此情况出现。

我在写这个故事期间小憩了一下，顺便吃了点烤松饼和佛蒙特州的枫树糖浆。享用甜点时，我看到一篇刊登在《滑稽时代》上的短文，内容是关于一个消防员对某所小学的造访。他向学生展示了一个烟雾报警器，问他们是否认识这东西。一个孩子答道：“妈妈就是靠它才知道晚餐有没有准备好的。”就在看到这篇短文的几分钟前，我刚刚关掉了

科学家如何追溯延续了 几个世纪的线粒体 DNA

解答专家: 伯特·伊利 (Bert Ely)
美国南卡罗来纳大学生物学家

在世代之间, 线粒体DNA(mtDNA)一般不会发生太大改变。线粒体DNA只能通过母亲传递给孩子, 父亲不会传递线粒体DNA。

线粒体DNA确实会发生突变, 但并不经常发生——在后代中, 发生变异的几率还不到1%。因此, 一个人的线粒体DNA可能与十几代之前的直系母系祖先相同, 利用这种共同的遗传特征, 就可以将生存年代相去甚远的人联系起来。例如, 如果某种线粒体DNA主要发现于非洲, 我们就能断定, 在世界其他地方, 具有这类线粒体DNA的人的母系祖先来自非洲。

大多数DNA都存在于人体细胞的染色体上或细胞核(包含所有染色体的细胞中央被膜包围的部分)中, 线粒体DNA则是个例外。线粒体是一种小型细胞器, 存在于各种植物和动物细胞中, 主要负责为细胞提供能量, 保证细胞功能正常运行。每个线粒体都含有自己的DNA和蛋白质合成结构。

由于人类的线粒体DNA罕有变异, 因此在环球旅行出现之前, 各大洲人群都有独特的线粒体DNA。因此, 科学家能根据线粒体DNA上最可能发生突变的区域——Hvrl区, 为那些最“年轻”的线粒体DNA找到它们的起源地。科学家可以通过分析Hvrl区, 找到线粒体DNA在过去代代相传时出现的所有突变记录。各大洲发现的线粒体DNA之所以不同,

就是因为这些累积多年的突变。

即使在同一个洲, 人类线粒体DNA的变异也存在区域差异。因为同一位母亲的后代极有可能毗邻而居, 她的线粒体DNA上的突变通常会局限在她居住的地区。无论何时, 人们从一个地方迁移到另一个地方, 他们的线粒体DNA也会随之迁移。例如, 住在非洲撒哈拉沙漠以南的人, 曾经进行过大范围的迁移。最近的一项研究表明, 在非洲的许多国家, 人们体内的大约半数线粒体DNA都很相似。SY



海贝壳和蜗牛壳 是怎样形成的

解答专家: 弗朗西斯·霍恩 (Francis Horne)
美国得克萨斯州立大学生物学家

蛤蜊、牡蛎、蜗牛以及其他软体动物的外骨骼称为壳。它不是由普通的动物细胞构成的, 而是由碳酸钙组成的, 其中还包含了少量(不到2%)的蛋白质。

外套膜组织位于壳的下方并且与壳相连, 它分泌的蛋白质和矿物质就形成了壳。首先形成的是一层非钙化层——贝壳素(conchiolin), 由蛋白质和几丁质(chitin)组成, 这是一层自然产生的聚合物, 主要起加固的作用。接着形成的就是高度钙质化的棱柱层, 最后形成珍珠

质层, 即珍珠层。这个过程与铺设钢筋(蛋白质)并在上面灌注混凝土(矿物质)有点类似。

在陆地上生活的动物, 比如人类的骨骼会随着身体一起生长, 但是蜗牛和蛤蜊则不是这样, 它们必须在外壳的边缘增加新物质, 来逐渐扩展外壳。举个例子, 蜗牛壳上最新的部分位于开口的周围, 也就是它们探出身体的那个地方, 外套膜的外部边缘就在这个开口处不断地扩展新壳。SY

(译/丁莉)

病毒模式·呼吸机·科学与犯罪

1957 年 2 月

流行感冒病毒——“病毒颗粒的结构相对简单，也许有一天我们能全面了解它。对于正常的活细胞，虽然我们了解得已经够多了，但还不全面。细胞被病毒感染后，大大增加了问题的复杂性。当我们开始研究一个新现象，比如病毒增殖，生物学研究领域就会不断延伸，因为从其他研究中得到的有关细胞成分和功能的认识都已派不上用场。因此，目前任何描述病毒感染细胞的模型，都显得简单，不能算是最终定论。准确地说，病毒不是通常意义上的独立生物体，而是某种生物形式的物质。这种形式会随着病毒颗粒从一个细胞转移到另一个细胞中。病毒颗粒本身并不活跃，但在每次感染过程中，它都会在寄宿的细胞内获得新生”。

——弗兰克·麦克法兰·伯内特爵士（Sir Frank Macfarlane Burnet）

1907 年 2 月

新鲜空气——“防烟面具、防烟外套以及设备齐全的呼吸装置已经在各类矿井、消防队以及制冷工

厂的液氨储藏室等工业设施中普遍应用。通过一个装满氧气的钢筒，这些奇特的设备一次性供应的人造空气，足够使用者呼吸 4 个小时。在南美一些偏远的采矿区，补充氧气尤其重要。不过一些航运公司根本不办理压缩氧气钢瓶的运输业务。现在，一种名为‘oxylythe’的新物

质问世了，它可以被切成小块随时使用——一旦它与水接触，就会释放氧气。”

1857 年 2 月

谋杀——“上月 29 日清晨，H·博戴尔博士被人刺死在自己的房间里。他与管家的关系相当恶劣，而且管家身上也有一些看似明显的犯罪证据，但经过科学分析，管家的犯罪嫌疑已被排除。在管家的抽屉中，找到了一把染有血色遗留物的匕首，但化学检验证实这并非血渍，而是铁锈；她那件蓝色丝裙上的明显红色污迹也不是血，而是糖或水果果汁。目前，犯罪证据都指向一个房客。在他的工作室和卧室里，找到了一把刀子和一张报纸，经过检验，上面确实都沾有血迹。通过显微镜对血块和红血球进行观察，证明这些血来自动脉。”

伊利诺伊的农业——“图中描



正在草场上播种的农民，1857 年

述的是伊利诺伊州莫林市 R·霍伍德农场的播种场面。在辽阔的大草场上，播种机正在工作。在播种机前面，是一排看上去庄重而又威严的牲口，当它们迅捷有力地拉着机器前进，一粒粒种子就会播撒在肥沃的土地上。”

大漩涡——“几乎所有的地理教科书都记载过挪威西海岸的巨大漩涡，它们也出现在许多精彩的故事之中。但一位欧洲的朋友告诉我，这些大漩涡其实并不存在。他说，丹麦国王派出航海和科学探险队，计划沿着大漩涡边缘航行，测量它的周长、观测它的活动，并写成报告。然而，在探险队沿着传说中的漩涡边缘航行的过程中，海面始终像德国海域的其他部分一样平静。在此以前，我一直确信大漩涡的存在，不仅船只，甚至巨鲸有时都会被这个可怕的涡流吞噬，永远葬身海底。”

（译 / 徐蔚）

环球科学小词典

伯内特，1899 年生于澳大利亚维多利亚州，1928 年在英国伦敦大学获得博士学位。1949 年，伯内特提出获得性免疫耐受性的概念，引起了学术界的重视。1951 年他被授封爵士爵位。1960 年，因为创立了获得性免疫耐受性理论，伯内特与梅达沃爵士（Sir Peter Medawar，1915—1987）分享了诺贝尔生理学或医学奖。



当嘉陵江上的汽笛划破暮色的苍茫，满城浮动着的梅花的馨香，我们知道，春天已经如约而至。在这里，向全国读者道一声：新春快乐！

2007年，我们一如既往地期待着你们的声音。你对《环球科学》有什么话说？你对某个科学事件有什么思考？都请第一时间告诉我们。一个电话、一封来信，都是对我们莫大的支持和鼓励，都是我们不断进步的动力所在。

读者热线：023-63658888-16048

E-mail: advice@sciam.cn

来信请寄：重庆市渝中区双钢路3号科协大厦1204环球科学杂志社
邮编：400013

■《科学美国人》中文版我已经订阅10多年了。

我的建议是：《环球科学》应尽量保持《科学美国人》的风貌，特别是科学家撰写的文章；还可以适当在各类媒体上做一些广告宣传，媒体本来就应该为中国科学发展担当起责任。

主修科学的大学生都应该经常阅读这份杂志，我会向新同学介绍这本全世界最好的科普杂志。这是为了帮助青年人培养起对科学的热情和提高自身的科学素质。

——厦门大学生命科学院副教授
彭兴跃

回复：非常感谢你对《环球科学》的厚爱与支持。《科学美国人》每期的重要文章，我们都会邀请相关领域的科学家或资深科普翻译家执笔翻译，保证将科学美文原汁原味地呈献给读者。在宣传方面，我们已经和CCTV、新浪网、新华网等媒体展开了合作，相信一定会

收到良好的效果。我们会加倍努力，让科学理念在更多的读者心中传播。

■这是我第一次购买《环球科学》杂志。在此之前，我对科普知识和相关书籍不是很感兴趣，总觉得这类书籍十分枯燥单调。读了几篇文章之后，我庆幸得不得了。幸亏我买了这本杂志，我才能了解到，原来科学世界竟是如此美丽。尤其重要的是，《环球科学》增强了我的自信心，扩展了自己的知识面。虽然一本杂志的内容有限，但是我相信，如果坚持阅读每期《环球科学》的话，一定会对自己非常有好处。

——哈尔滨 王晴

回复：《环球科学》的文章涉及各领域的最前沿，有些内容难免艰深，因此我们一直努力用浅显的语言和丰富的图片，来帮助读者克服阅读困难。看到你如此喜爱《环球科学》，我们都非常高兴。谢谢你坚持阅读《环球科学》，我们一定会将一个更美丽、更神奇的科学世界，

更完整、更清晰地呈献给你。

■我特别喜欢科普杂志，但中国此类杂志较少，《环球科学》让人眼前一亮。不过贵刊稿件大多译自《科学美国人》，也许在翻译和编辑上耽误了一些时间，有些内容似乎缺乏时效性。贵刊应该在这方面适当加强，以免错过一些重大的科学事件。

——九江 蒋锋

回复：感谢你的意见。译自《科学美国人》的稿件，通常只比原版文章晚1期。也就是说，本期杂志上的大部分内容，都译自《科学美国人》2007年第1期。对于一些重大科学事件，我们也会增加自采内容，及时报道。例如《环球科学》在2006年10月号上就及时报道了冥王星降级的事件，而本期的《行星为什么是行星》则是《科学美国人》对此所作的深入分析。我们也会在“前沿扫描”中增加及时的科学新闻，希望你

请继续订阅2007年《环球科学》

这段时间，编辑部的电话成了热线，不断有读者询问合订本的情况，和2007年杂志的订阅方法。小编在这里提醒大家，《环球科学》可以破季订阅，你随时可以到当地邮局订阅，部分过刊和《环球科学2006年合订本》，则可以直接向杂志社购买。

1.到各地邮局订阅：

邮局订阅代号：80-498，全年订阅价144元，半年订阅价72元，季度订阅价36元。

友情提示：《环球科学》可以破季订阅。

2.向《环球科学》杂志社订阅：

邮局汇款（汇款时请注明您的姓名、通信地址、邮编、电话和订阅起止时间）

汇款地址：重庆市渝中区双钢路3号科协大厦1204

收款单位：环球科学杂志社

邮编：400013

友情提示：请妥善保存订阅收据，以便日后查询。

3.网上订阅：www.itbook.com.cn

友情提示：网上订阅均采用在线支付方式，支持多种银行卡网上支付。

对直接从杂志社和itbook网站上订购一年以上（含一年）杂志的订户，我们推出如下优惠：

选用挂号方式（推荐）：全年优惠价150元（原价180元）

选用平邮方式：全年优惠价120元（原价144元）

《环球科学2006年合订本》：135元/套（原价150元）

单册购买：68元（原价75元）

有错必改

勘误与致歉：

○2006年第12期第71页，左栏最后一行“十万分之一”应为“千万分之一”。

纠错读者：马海燕

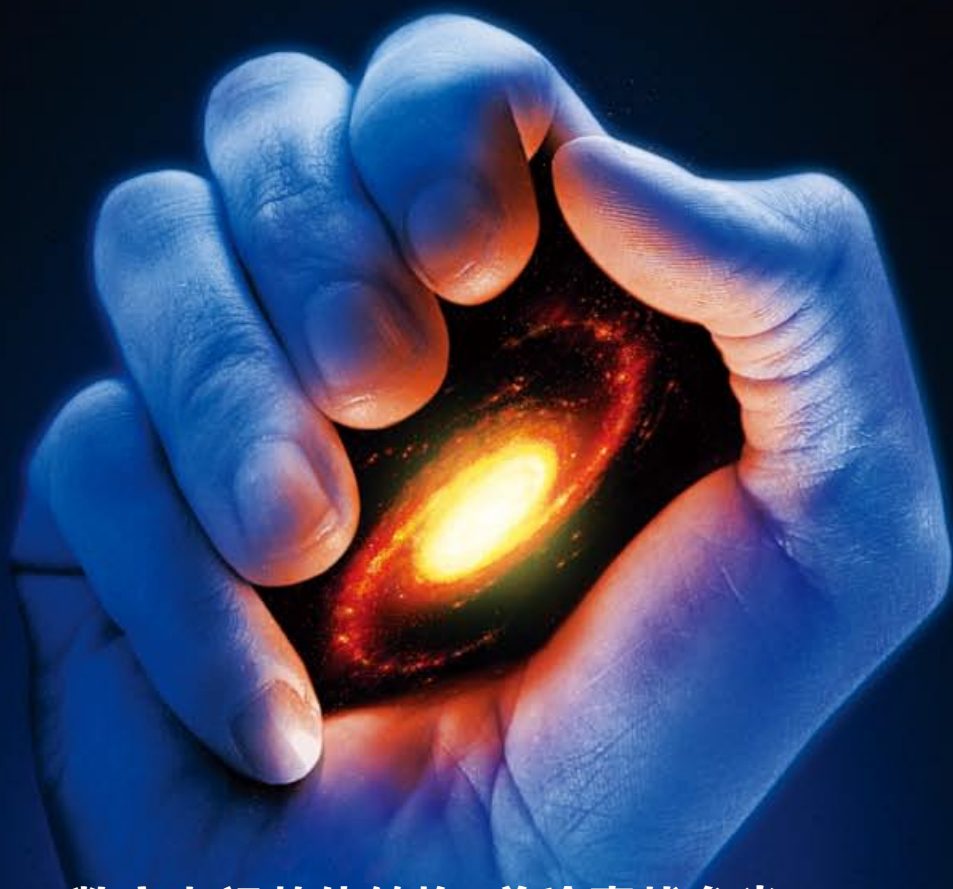
○2007年第1期第87页，右上图标出的“正极”、“负极”应为“阳极”、“阴极”。

纠错读者：bbl

感谢两位读者为《环球科学》纠错，杂志社将特别赠送给他们最新出版的杂志一本。如果你在杂志中发现错误，不论是事实、观点、翻译错误，还是一个错别字、一个标点，都请第一时间告诉我们。真诚感谢你的参与。

暗能量：宇宙黑手

我们差点错过了占据宇宙四分之三的神秘能量。这种看不见的强大力量不仅驱使着宇宙加速膨胀，还掌握着宇宙居民的命运——有证据显示，暗能量与星系和恒星的演化息息相关。



数字电视整体转换 前途喜忧参半

硅芯片也能玩激光 电子产品跨入光电时代

马达加斯加惊现恐龙坟场 神秘杀手究竟是谁

植物也疯狂：森林为全球变暖推波助澜？

姜黄有了新用途 消炎抗癌都在行

拼装蛋白药物 纳米水平上的拼图游戏

专有名词

化学、生物、医学

Acinetobacter baumannii 鲍氏不动杆菌
adenosylcobalamin 腺苷钴胺
adrenocorticotropin 肾上腺皮质激素
alkylphenol 烷基酚
alternative medicine 替代医学
amino acid 氨基酸
aptamer 核酸适体
arachidonic acid 花生四烯酸
Bacillus anthracis 炭疽芽孢杆菌
Bacillus subtilis 枯草芽孢杆菌
Bacteroidetes 拟杆菌
biofuel 生物燃料
biosynthetic enzyme 生物合成酶
Brucella melitensis 羊种布鲁氏菌
carbohydrate 碳水化合物
cellulose 纤维素
coenzyme 辅酶
combinatorial chemistry 组合化学
Deinococcus radioduran 耐辐射奇球菌
Enterococcus faecalis 粪肠球菌
Escherichia coli 大肠杆菌
ethanol 乙醇
eukaryote 真核细胞
fatty acid synthase, FAS 脂肪酸合成酶
flavin mononucleotide 黄素单核苷酸
flexible fuel 柔性燃料
Francisella tularensis 土拉热弗朗西丝氏菌
glucosamine-6-phosphate, GlcN6P
葡糖苷 -6- 磷酸
green fluorescent protein, GFP 绿色荧光蛋白
Helicobacter pylori 幽门螺杆菌
Hemophilus influenzae 流行性感嗜血杆菌
Homo sapiens 现代人
human papillomavirus 人乳头瘤病毒
hydrocarbon 碳氢化合物
in-line probing 串联标记技术
isonitrile 异腈
Lac repressor 乳糖阻遏蛋白
lignin 木质素
Listeria monocytogenes
单核细胞增多性李斯特氏菌
maple syrup 枫糖浆
memory clinic 记忆诊所
methyl tertiary butyl ether, MTBE
甲基叔丁基醚
Mycobacterium tuberculosis 结核分枝杆菌
neutrophil 嗜中性粒细胞
nucleotide sequence 核苷酸序列
operon 操纵子
oxazole 噁唑
pathogen 病原体
phosgene 碳酰氯, 光气
Post-Traumatic Stress Disorder
创伤后应激障碍

prokaryote 原核生物
prolactin 催乳素
prostacyclin 环前列腺素
prostaglandin 前列腺素
protocell 原生细胞
Pseudomonas aeruginosa 铜绿假单胞菌
quencher group 猝光基团
retinoblastoma 视网膜母细胞瘤
ribosomal RNA 核糖体 RNA
ribosome 核糖体
riboswitch 核糖开关
ribozyme 核酶
RNA 核糖核酸
Salmonella enterica 肠沙门氏菌
smallmouth bass 小口黑鲈
Staphylococcus aureus 金黄色葡萄球菌
Sticker's sarcoma 施蒂克氏肉瘤
Streptococcus pneumoniae 肺炎链球菌
sugar maple 糖枫
sulfonamide 磺胺类药物
switchgrass 柳枝稷
S-adenosylmethionine 腺苷甲硫氨酸
Tasmanian devil 塔斯马尼亚袋獾
terminator 终止子
tetracycline 四环素
thiamine pyrophosphate 焦磷酸硫胺素
transporter 转运蛋白
Trichoderma reesei 裸耳壶菌属木霉真菌
unleaded regular gasoline 普通无铅汽油
vascular endothelial growth factor, VEGF
血管内皮生长因子
Vibrio cholerae 霍乱弧菌
Yersinia pestis 鼠疫耶尔森菌
yeast 酵母

物理、天文、环境、IT

abiogenesis 自然发生说
array microphone 麦克风阵列
carbon tax 碳排放税
Ceres 谷神星
concurrency 并发
concurrency and coordination runtime, CCR
并发处理与协调运行
coolant 冷却剂
critical mass 临界质量
decentralized Software Services, DSS
分布式软件服务
electron-multiplying charge-coupled device
电子倍增 CCD
emerging contaminants 新兴污染物
Europa 木卫二, 欧罗巴
evanescent light wave 消逝光波
fluorescence confocal microscope
荧光共焦显微镜
first-mover incentive 率先行动者激励政策
fuel cycle 燃料循环

Grand Challenge 机器人挑战大赛
Ina crater 艾娜环形山
Kuiper belt 柯伊伯带
light-water reactor 轻水反应堆
Long Duration Exposure Facility
长期曝露飞行器
magnetosphere 磁层
Mars Exploration Rovers 火星探险漫游车
Martian Radiation Environment Experiment,
MARI 火星辐射环境实验
moderator 慢化剂
multicore processor 多核处理器
nakhlite 透辉橄无球粒陨石
niche product 利基产品
optical section 光学切片
orbital zone 轨道区域
panspermia 胚种论
pebble-bed reactor 煤球炉式反应堆
planetary embryo 行星胎
planetesimal 星子
Plutino 类冥行星
prototype reactor 原型反应堆
radionuclide 放射性核素
ranking function 排序函数
signal-to-noise ratio 信噪比
Static Driver Verifier 静态驱动程序检查器
Terminator 终结者 (软件名)
Titan 土卫六, 泰坦
total internal reflection fluorescence, TIRF
全内反射荧光技术
transuranic 超铀元素
Trojan 特洛伊小行星

机构名

American Institute of Biological Sciences, AIBS
美国生物科学学会
Howard Hughes Medical Institute
美国霍华德休斯医学研究所
logen 加拿大艾欧基公司
Nuclear Regulatory Commission, NRC
美国核管理委员会
Renewable Fuels Association
美国可再生燃料协会

书刊电影

Cosmos 《宇宙》
funny times 《滑稽时代》
I, robot 《我，机器人》，又名《机械公敌》
Parasite Rex 《寄生霸主》
R.U.R. 《洛苏姆万能机器人公司》
Soul Made Flesh 《血肉灵魂》
Star Trek 《星际迷航》
Star Wars 《星球大战》
The Emperor of Scent 《气味皇帝》

销量突破2000万册 畅销度仅次于《新华字典》

电脑报 2006 合订本

连续11年全国最畅销科技图书之一

2000万读者的选择



超值赠送总价值**1500**元正版软件

价值**60**元 瑞星2007（杀毒+防火墙）组合版
价值**278**元 爱数个人数据保护套装
价值**380**元 雨过天晴电脑保护系统
价值**38**元 用友财智记账本2.0
价值**150**元 超酷手机软件、网游资源
价值**600**余元 25款装机必备工具软件（1年免费升级）
金山词霸**2007**（读者专用版）

惊喜**7**重巨献

权威：IT第一媒体《电脑报》精心编制的大型实用工具书
实用：随书附赠相当于7张CD-ROM光盘的超容量DVD
超值：联合知名软件厂商随光盘提供总价值**1500**元正版软件
特别策划：携手中国移动提供手机软件，精心打造移动新生活
特别回馈：著名一线IT厂商2007超值资源大献礼
特别派送：**300**万份热门游戏道具免费拿
跑跑卡丁车，久游网劲爆足球，刀剑online
特别服务：IT精灵网（合订本互动专区）——资源服务无极限

战略合作

中国移动

Microsoft

Baidu

瑞星

KINGSOFT

江民科技

世纪天成

搜狐

EISOO

爱数

inspur

浪潮

久谦网

连续购买《电脑报合订本》您将拥有一套实用的大型电脑文库

全国各地新华书店、书报刊零售点正在热销

欢迎访问IT精灵网：<http://www.itdaily.com.cn> 精彩活动等着你！



Bowflex® TreadClimber®
搏飞家用系列 TC3000



全球知名健身器械品牌



一年四季，风雨无阻，享受登山的乐趣。



BOWFLEX® 搏飞踏步登山机 TC3000

- 超高效和低冲击力的健身过程能够缩短您的锻炼时间；
- 五个液晶读数窗口让您更容易看到所有重要的锻炼指标；
- 12种强度设定能够使您简便地设计适合自己的健身和舒适程度的锻炼方案；
- 可调速度范围从1.1千米/小时到6.4千米/小时；
- 踏板带旁边的宽大踏板能使锻炼的开始和停止更加安全和简便。

零售价：RMB 24,999 元

器械尺寸：长116cm × 宽72cm × 高140cm



订购咨询热线：800 820 3949

网络订购：www.myfit.cc

经销商：上海泛兴贸易有限公司